

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れの評価に関する研究
Title(English)	Evaluation of surface cracks of construction sealants caused by weathering
著者(和文)	榎本教良
Author(English)	Noriyoshi Enomoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第7801号, 授与年月日:2009年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:田中 享二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第7801号, Conferred date:2009/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

建築用シーリング材の耐候劣化に伴う
表面ひび割れの評価に関する研究

**Evaluation of Surface Cracks of Construction
Sealants Caused by Weathering**

2009年8月

東京工業大学 総合理工学研究科

環境理工学創造専攻

榎本 教良

建築用シーリング材の耐候劣化に伴う

表面ひび割れの評価に関する研究

目 次

論文要旨	5
Abstract	7
第1章 序論	
1.1 研究の背景	9
1.2 シーリング材の役割	10
1.3 シーリング材の必要性能	12
1.4 シーリング材組成の概要	15
1.5 シーリング目地の種類	17
1.6 実建物における表面劣化の状況	20
1.7 屋外暴露試験に関する既往研究の概要	22
1.8 本研究の範囲	27
第2章 新しい試験方法の提案	
2.1 はじめに	29
2.2 目地幅可変型試験体	30
2.3 表面劣化状態の判定	33
2.4 表面クラック状態の定量化	34
2.4.1 表面劣化度としてのQS値設定	34
2.4.2 QS値と表面劣化状態の目安	34
2.5 新規試験方法の妥当性検証	36
2.5.1 QS値の妥当性	36
2.5.2 伸縮変形時の形状の影響に関する確認	37
2.5.3 伸縮変形時の隣接部位からの影響に関する確認	40
2.5.4 伸縮変形付与頻度の影響	43
2.6 まとめ	62

第3章	耐候劣化状態変化の定量化	
3.1	はじめに	64
3.2	表面劣化状態の変化	65
3.3	Q S 値変化のモデル化	72
3.4	Q S 値実験式の提案	73
3.4.1	基本的考え方	73
3.4.2	静的状態でのQ S 値変化の定量化	74
3.4.3	伸縮に伴う劣化促進倍率の定量化	75
3.4.4	Q S 値実験式の設定	76
3.4.5	各シーリング材のQ S 値実験式	76
3.5	Q S 値実験式の計算値と観測値の関係	78
3.6	まとめ	83
第4章	屋外暴露に対する促進暴露の関係	
4.1	はじめに	85
4.2	屋外及び促進暴露試験の概要	86
4.3	光源による劣化促進倍率の設定	98
4.4	光源によるQ S 値実験式	101
4.5	Q S 値実験式の計算値と観測値の関係	102
4.6	まとめ	109
第5章	耐候性に対する地域因子の定量化	
5.1	はじめに	111
5.2	屋外暴露試験の概要	112
5.3	地域因子の定量化	124
5.4	暴露地におけるQ S 値実験式の設定	126
5.5	Q S 値実験式の計算値と観測値の関係	127
5.6	まとめ	136
第6章	耐候劣化にもとづく外観寿命の推定	
6.1	はじめに	138
6.2	Q S 値実験式の妥当性検証	139
6.3	外観限界寿命の設定	149
6.4	外観寿命算定式の提案	151
6.5	外観寿命の推定	152
6.6	表面ひび割れ状態の屋外暴露試験と実建物における劣化状態の関係	154

6.7	まとめ	156
第7章	結論	158
	[付帯資料]	
	参考文献	163
	本研究に関する発表論文	166
	付録	
1)	屋外暴露6.6年後の表面ひび割れ状況	169
2)	Rilem SBJ Outdoor Weathering Test Method	173
3)	I S O / T C 59 / S C 8 外観変化試験方法 (案)	186
	謝辞	200

論文要旨

建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れの評価に関する研究

建築用シーリング材は建物外壁の目地に充填され、建物の水密性及び気密性を確保する材料である。シーリング材の必要性能として、各種建築部材に対する接着性、目地の動きに対する動的追従性及び外観の健全性が求められる。この中で防水機能を維持するため前者の二項目については J I S 等で試験方法及び性能基準が規定されているが、外観の健全性評価については規定がないのが現状である。

今回、外観面より有機系材料の特性である耐候劣化における評価に対し、新たな試験体の考案と発生する表面のひび割れ状態の定量化により、当分野における従来からの課題点解決のための研究を行った。

「第1章 序論」

シーリング材の役割、必要性能、シーリング材組成の概要、適用される目地の種類、実建物における表面劣化の状況、屋外暴露に関する既往研究の概要と耐候性研究における課題点及び本研究の範囲について述べ、耐候性評価における従来の課題点を明確にした。

「第2章 新しい試験方法の提案」

従来の耐候性研究において目地の動きを連動できる動的屋外暴露試験機も開発されているが、試験機自体が大型となり、かつ装着できる試験体数も限定される課題と、表面に発生したひび割れの状態については定性的判定に対する解決策を述べた。

今回、従来の課題を検討するため一つの試験体で±30%までの伸縮状態を連続的に付与できる小型の試験体を考案し、表面ひび割れ状態の判定に塗料の I S O 規格で規定されている、クラックの量 (Q) 及び大きさ (S) を数値化した評価を活用し、Q 値と S 値の積値を表面劣化度を表す尺度として Q S 値を設定し、ひび割れ状態を定量的に表すことを可能とした。また、本試験法の妥当性検証のため、懸念される Q S 値とひび割れ状態の相関、目地変形状態・隣接部位の影響及び目地変形付与頻度に関する確認結果も述べた。

「第3章 耐候劣化状態変化の定量化」

国内で使用されている主要シーリング材 8 種の山梨県南アルプス市における Q S 値変化を 4 年間観察し、試験結果より Q S 値変化の実験式を提案し、計算値と実際の観測値は試験期間内において良好な関係を示すことを確認した。

「第4章 屋外暴露に対する促進暴露の関係」

有機物質の耐候性については評価期間の短縮化のために、促進暴露試験機を用いた

評価が屋外暴露とともに通常行われているが、屋外暴露と促進暴露の関係について述べた。

今回のひび割れ状態を尺度化したQS値を用い、屋外暴露に対し国際的にも標準化されている3種類の促進暴露試験機の劣化促進倍率を求め、促進暴露試験のみでは建築用シーリング材の耐候性は判断できず、基準となる屋外暴露試験が不可欠であることを述べた。

「第5章 耐候性に対する地域因子の定量化」

日本国内における代表的な気象条件として、寒冷地（旭川）/温暖地（銚子）/亜熱帯（宮古島）の3個所で8種のシーリング材の屋外暴露試験を行い、表面ひび割れ状態に対する地域の影響を地域差比として定量化を図り、北半球に位置する日本では緯度が下がるに従い耐候劣化がより進行するという定説が、建築用シーリング材については一概に当てはまらないことを述べた。

「第6章 耐候劣化にもとづく外観寿命の推定」

4年間の屋外暴露試験結果より得られたQS値実験式より、暴露期間を6.6年後まで外挿した時点での当実験式の妥当性検証を行った。

また、シーリング防水専門家による評価により外観面から改修対象となる限界QS値を設定し、限界寿命に達する外観寿命算定式の提案を行ない、実際の建物でのひび割れ発生状態は屋外暴露試験より求めた外観寿命算定式よりマイルドになる傾向があることを述べた。

「第7章 結論」

本研究の結論を総括して述べる。

Abstract

Evaluation of Surface Cracks of Construction Sealants Caused by Weathering

Construction sealant is the material to serve the water-proof function for the external joints of building, and the weatherability of sealant is very important performance to sustain the demanded functions. Sealant deteriorates on any conditions from static to dynamic conditions, so the weatherability of sealants is appeared as the complex phenomena such as joint movement, regional climate, etc. Though many studies for the weatherability of sealant has been carried out for past time, the evaluation for the degradation of sealant was quantitative criteria. In this study, the new test specimen for the weatherability of sealant that is able to add the extension/compression transformation continuously with only one specimen has been devised. For the quantitative evaluation of degradation states of sealants, the newly created criterion for the surface degradation index based on ISO's criteria has been determined. By applied new test specimen and criteria, the relationships between out-door and accelerating exposure, and among the regional factor have been emerged, and the estimating the repair period of sealed joint based on surface cracks has been enable.

第 1 章

序 論

1.1 研究の背景

建物外壁部の隙間から建物内部への水密性や気密性を確保する材料としては昔からガラス窓にガラスパテが使用されていたが、1940年代に米国で液状ポリサルファイド及びシリコン樹脂が開発され、建築用シーリング材として外壁目地部の防水材料としての適用が始まった。

我国へは1950年代に米国から油性コーキング材の輸入が開始され、1960年代からは弾性シーリング材としてポリサルファイド系シーリング材やシリコン系シーリング材が近代建築に使用され、近代建築において建築用シーリング材は不可欠な建築材料として現在に至っている。また、近年の石油化学の発展も伴ってシール機能を有する種々のシーリング材料が開発され、建築・土木を始め自動車や電機分野等で多用されている。

建築用シーリング材に求められる機能は、まず建物内部への漏水を防ぐ防水機能であるが、建物自身が長期間使用されることから意匠性（外観）の長期保持性も重要な必要性能となる。表1-1に建築用シーリング材に関連する歴史の概要を示す。^{1)、2)}

防水機能に関する性能については過去より種々の検討や研究がなされ、現在では国内外の規格で試験方法や判定基準が整備されている。しかし、建物が曝される外部環境下に大きく影響を受ける意匠性については、過去から海外や日本においても多くの研究がなされているが、現時点ではまだ統一された試験方法や判定基準がないのが現状である。

今回、このような背景をもとに建築用シーリング材の耐候性に関する研究に着手した。

表1-1 建築用シーリング材に関する歴史の概要

年	内 容
1940年代	ポリサルファイド、シリコン樹脂の開発（米国）
1950年代	米国より弾性シーリング材の輸入開始
1969	JIS A 5754（建築用ポリサルファイド）制定 JIS A 5755（建築用シリコン）制定
1972	JASS 8（防水工事）にシーリング工事が追加制定
1975	JIS A 5757（建築用シーリング材の用途別性能）制定
1979	JIS A 5758（建築用シーリング材）制定
1985	建設省「建築工事共通仕様書」にシーリングが追加改定
1997	JIS A 5758改定（ISO規格導入） JIS A 1439（建築用シーリング材の試験方法）制定

1.2 建築用シーリング材の役割

建築用シーリング材は図1-1に示すよう、建物外壁の各種部材の隙間（以下、目地という）に充填され、建物内部への水密性及び気密性を確保する建築材料である。

現在の建物は高層化やプレハブ化等によりデザイン性も多岐にわたり、目地の増加に伴い建築用シーリング材に水密性・気密性を委ねる建築物が増加している。また、建築構法の変遷に伴い目地部に発生するムーブメントの種類も多岐にわたり、かつ目地を構成する建築部材も、コンクリート・ガラスやアルミ部材など無機系建材からプラスチックなどの有機系建材まで多岐にわたる建材から成り立つ。

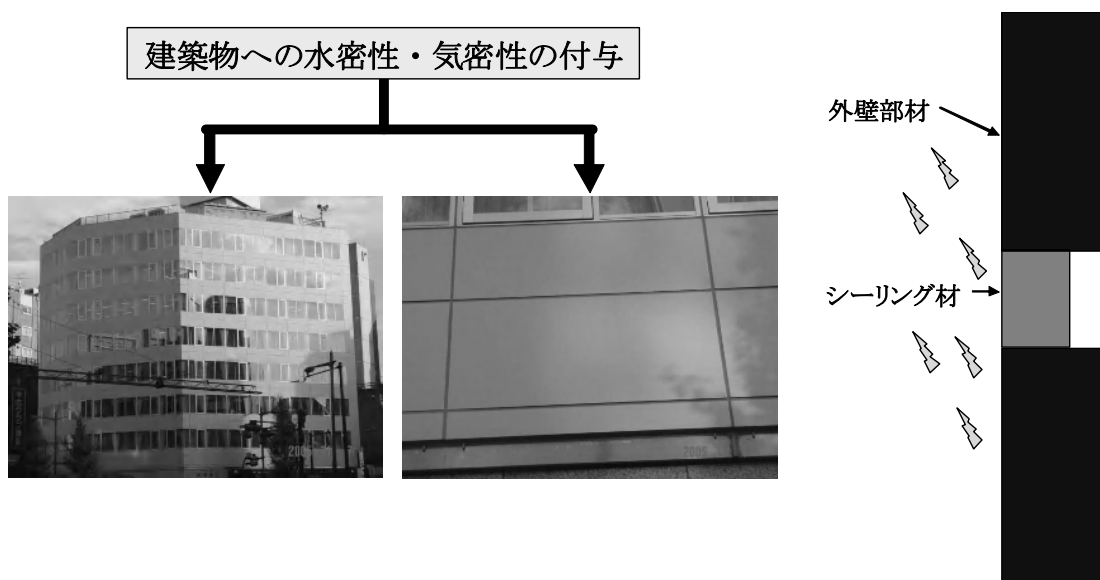


図1-1 建築用シーリング材の役割

建物への水密性・気密性を確保する建築用シーリング材に求められる役割を以下に示す。

- (1) 水密性・気密性を付与できる材料であること。
- (2) 目地のムーブメントに追従できること。
- (3) 耐久性に優れていること。

建築用シーリング材は現在の建築構法において不可欠な材料であり、建築用シーリング材の生産量推移を図1-2に示す。現在7種類の主成分にもとづく建築用シーリング材がJIS規格³⁾で性能が規定されている。量的には変成シリコン系が最も多く、次いでポリウレタン系及びシリコン系の順となる。

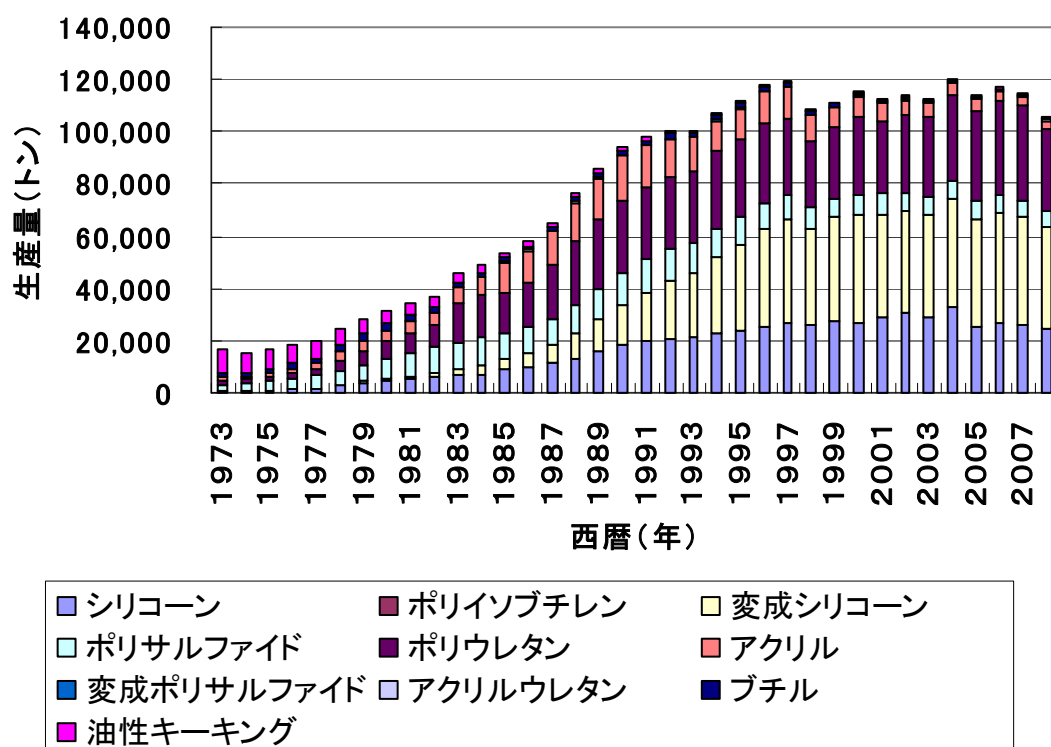
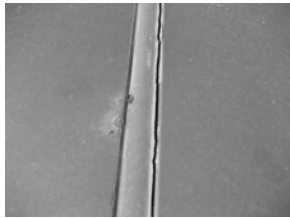

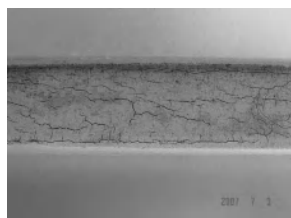


図 1-2 日本における建築用シーリング材の生産量推移

1.3 建築用シーリング材の必要性能

1.2に示す役割を發揮するため建築用シーリング材の必要性能を図1-3に示す。まず、防水性を維持するため、各種部材に対する接着性及び目地のムーブメントに対する追従性が上げられ、これらの性能が十分でないとシーリング材の部材からの剥離や動的破壊に結び付き、水密性が損なわれる。そのため、これらの性能に関して国内外の規格^{3) 4)}で試験方法及び判定基準が規定されている。

また、建築用シーリング材表面の意匠性（外観）については、建物が曝される条件にもとづく耐候劣化条件及び目地に発生するムーブメントにより大きく影響を受け、有機材料である建築用シーリング材表面に発生するひび割れ（クラック）については、現時点では国内外を含め試験方法及び判定基準が規定されていないのが現状である。

対 象	防 水 性		意匠性(外観)
必要性能	接 着 性	動的追従性	耐 候 性
内 容	☆各種被着体に接着	☆目地の動きに長期間追従	☆暴露環境下で長期間性能を維持
不具合事例			
	【剥離】	【動的破壊】	【表面ひび割れ】
試 験 方 法	*JIS A 5758* ¹ *ISO 11600* ²	*JIS A 5758 *ISO 11600	— (ガラス越し促進暴露除く)

注) *1:JIS A 5758-2004 (建築用シーリング材)

*2:ISO 11600-2002 (Classification and requirements for sealants)

図 1-3 建築用シーリング材の必要性能

建築用シーリング材は本来の防水・気密性を付与する要求性能以外に外観も含め種々の特性が要求される。表1-2に2成分形シーリング材を例として、主な主成分毎の各種特性の位置付けを示す。²⁾

表 1-2 2成分形シーリング材の特性

特 性	S R	I B	M S	P S	U A	P U
動的追従性（温度）	◎	◎～○	○	○～△	○	△
動的追従性（地震・風）	◎	◎～○	◎～○	○	○	○
耐熱性	◎	◎～○	○	○	○	△
表面耐候性	◎	◎～○	○	○	○	△
耐光（ガラス越し）接着性	◎	◎～○	×	○	×	×
表面非汚染性	×	○	○～△	◎～○	○～△	○
目地周辺汚染性	×	◎	◎	◎	◎	◎
塗装適合性	×	○	○	○	◎～○	◎～○

注) 1. S R : シリコーン系、I B : ポリイソブチレン系、M S : 変成シリコーン系
P S : ポリサルファイド系、U A : アクリルウレタン系、P U : ポリウレタン系
2. 位置付け : 優秀◎～×劣

防水機能を維持する性能としては、接着性と動的追従性が重要である。接着性については図 1-4 に示す引張接着性試験体をシーリング材が破壊するまで引張り、シーリング材が凝集破壊か界面破壊かを示すかで接着性の良否を確認する。また、動的追従性については、図 1-4 と同様の試験体に加熱圧縮及び冷却引張を加え、その工程を繰り返した後に所定の伸縮率で 2000 回のサイクル試験を行い、シーリング材における欠陥の有無を確認することが試験方法として規定されている。試験工程の概要を図 1-5 に示す。

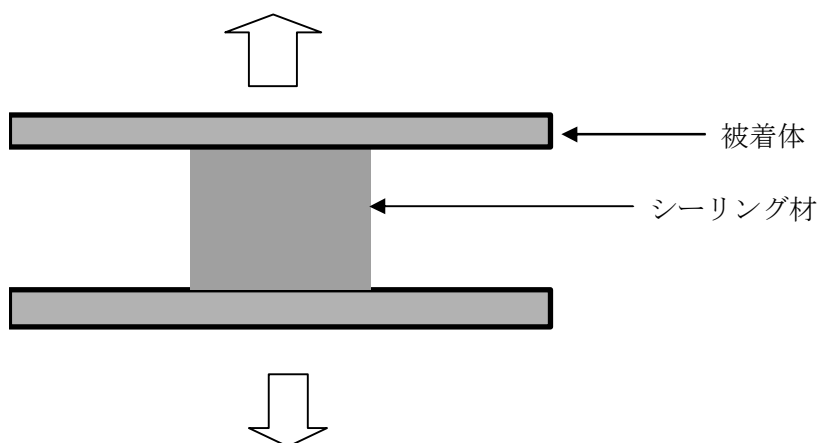


図 1-4 引張接着性試験用試験体の概要

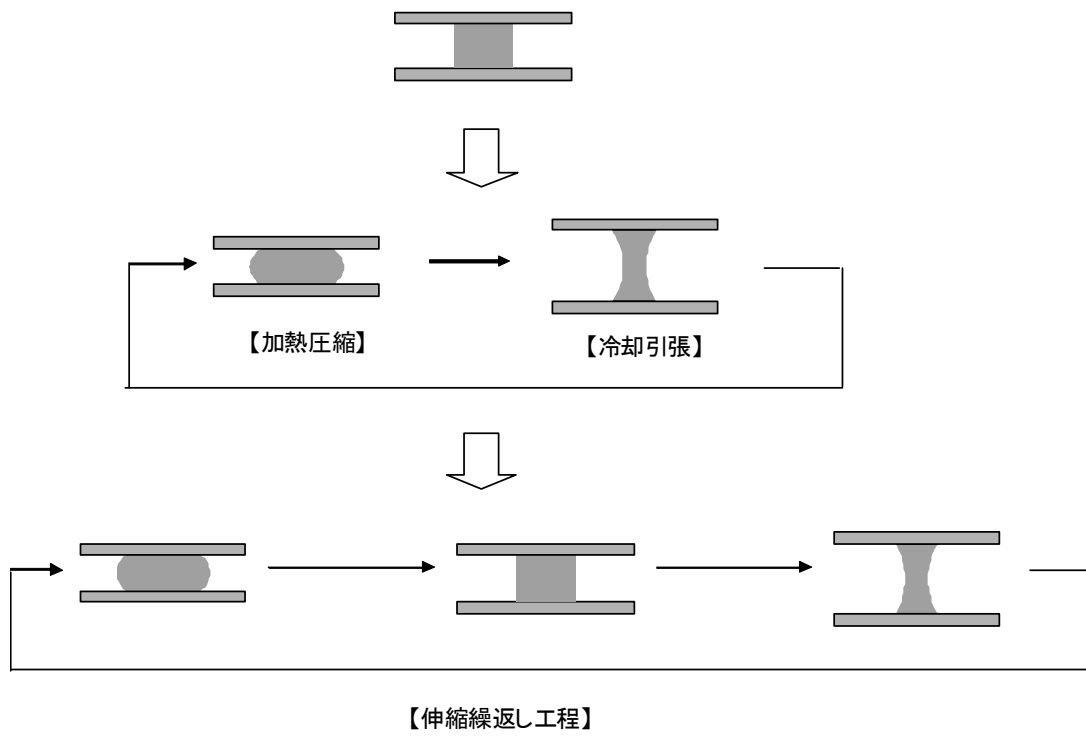


図 1-5 動的追従性試験の概要

1.4 シーリング材組成の概要

建築用シーリング材は図 1-6 に示すよう、主成分となる液状樹脂と各種資材により構成される。シーリング材の性能は用いられる主成分/可塑剤/硬化成分により、基本的な物理的性質が決定される。各種主成分の代表的化学結合の化学結合エネルギーを表 1-3 に示す。さらに、シーリング材の諸性能を改質するため各種添加剤が用いられ、シーリング材としての性能が設定される。

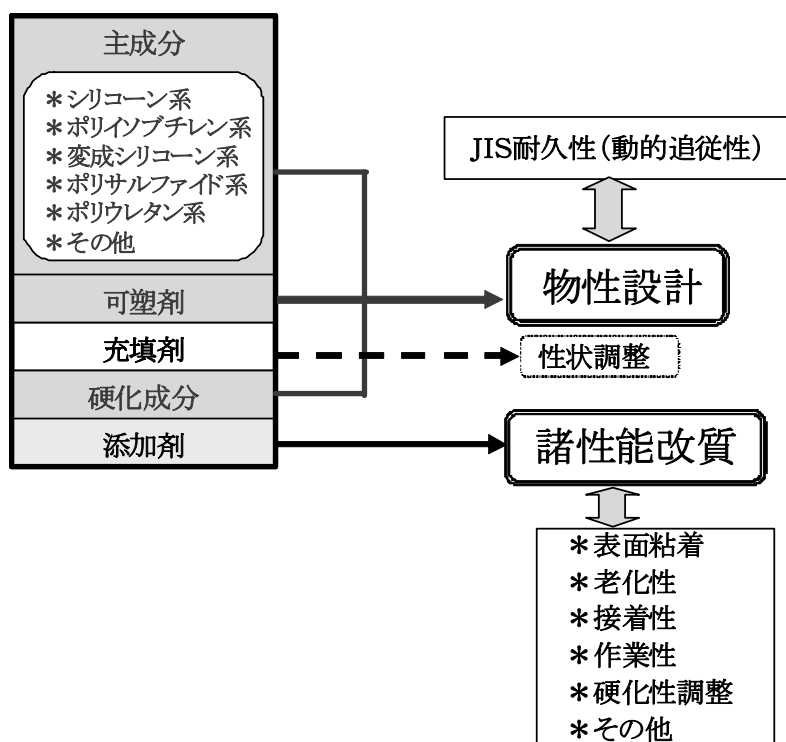


図 1-6 シーリング材の組成概要と目的

表 1-3 化学結合エネルギー

化学結合	結合エネルギー (E° / KJmol^{-1})
Si-O	622
C-O	321
C-N	267
C-C	590
S-S	425

シーリング材の耐候性は、用いる主成分に起因する物理的性質と改質に伴う諸特性の総合性能が、建物が曝される気象条件及び目地に発生する動きにより大きく影響を受け、表面部において劣化が主に進行する。

従って、シーリング材の耐候性は図 1-7 に示すよう製品毎で異なり、用いる主成分の種類及び基本物性から推定することは困難となる。

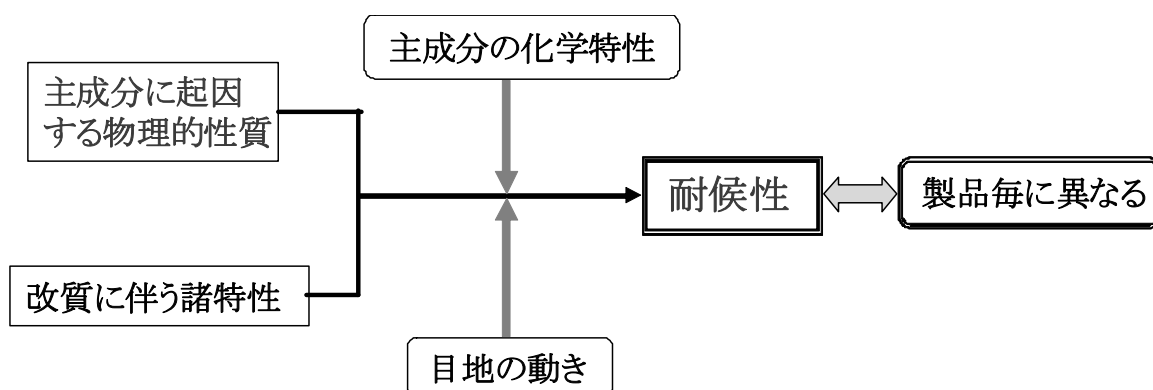


図 1-7 耐候性への影響因子の概要

1.5 シーリング目地の種類

建築用シーリング材表面の耐候劣化に伴うひび割れ状態は、目地に発生するムーブメントに大きく影響を受ける。発生するムーブメントの種類及び量は、建物の構法や目地を構成する建材により異なる。一般的にムーブメントが発生するワーキングジョイントと、ムーブメントが発生しないかあるいは発生しても微小なノンワーキングジョイントに分類される。図1-8にムーブメントによる目地の分類と、目地に発生するムーブメントの要因と耐候劣化への影響度合を表1-4に示す。

表1-4に示すよう目地には各種要因によりムーブメントが発生するが、表面ひび割れに対してはムーブメントの発生速度の遅いものほど影響が大きくなる。

図1-9に示すよう、建築部材の温度変化に伴うムーブメントは日間での温度変化と季節毎の温度変化が複合して作用するが、ノンワーキングジョイントでは年間を通じて目地のムーブメントはほぼ一定となる。

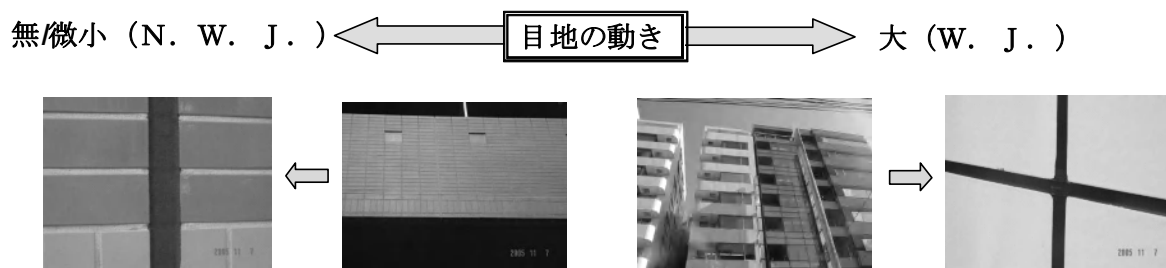


図1-8 目地の動きの分類

表1-4 目地の動きと耐候劣化への影響

目地の区分	動きの要因	主な目地	動きの速さ	耐候性への影響
W J	温度	*金属パネル目地	遅	大
	層間変位	*PC板目地	速	小
	風圧力	*ガラス目地	速	小
	湿気	*セメント板目地	遅	中
	硬化収縮	*窯業系サイディング目地	遅	中
NWJ	(無～微小)	*コンクリート目地	—	小

注) WJ:ワーキングジョイント, NWJ:ノンワーキングジョイント

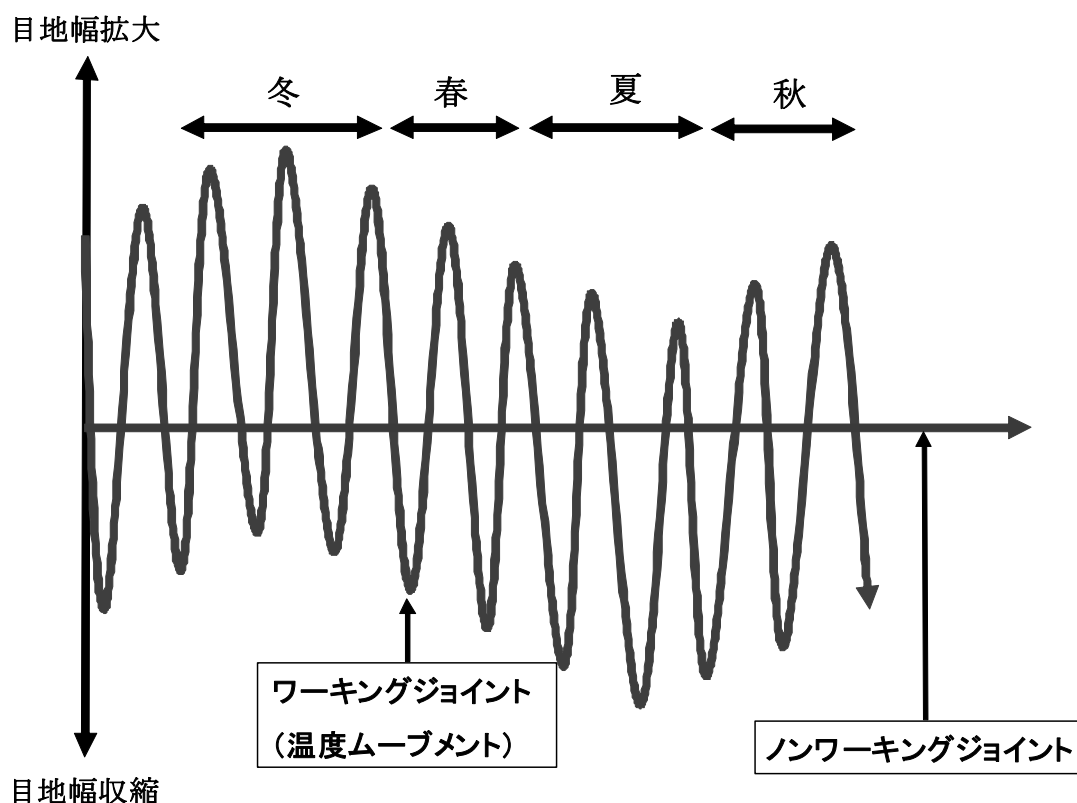


図 1-9 目地挙動のパターン

目地に発生する熱伸縮によるムーブメントは、日間での気温変化に伴う最低温度/最高温度の範囲で変動する他、季節の変化により夏季は高温サイドで、冬季は低温サイドで、また春秋季はそれらの中間範囲で伸縮が発生する。

また、ノンワーキングジョイントは、“ムーブメントが生じないか、またはムーブメントが非常に小さい。”と定義⁵⁾されている。

シーリング材は施工時期により目地に作用するムーブメントは異なり、低温時の目地が拡大された状態ではシーリング材に主に圧縮変形が、逆に高温時の目地が圧縮された状態では主に引張変形が発生する。目地の変位状態と施工時期及びシーリング材の硬化進行のパターンを図 1-10 に示す。

なお、シーリング材は目地に充填された直後から硬化が進行するため、過去に硬化途上の目地の動きに関する研究が多くなされ、表 1-5 に示す現象が報告されている。

今回の研究では、シーリングの特性として完全硬化後に変形が圧縮/引張方向に片振りするとはないため、シーリング材標準養生後の両振り変位による評価とした。

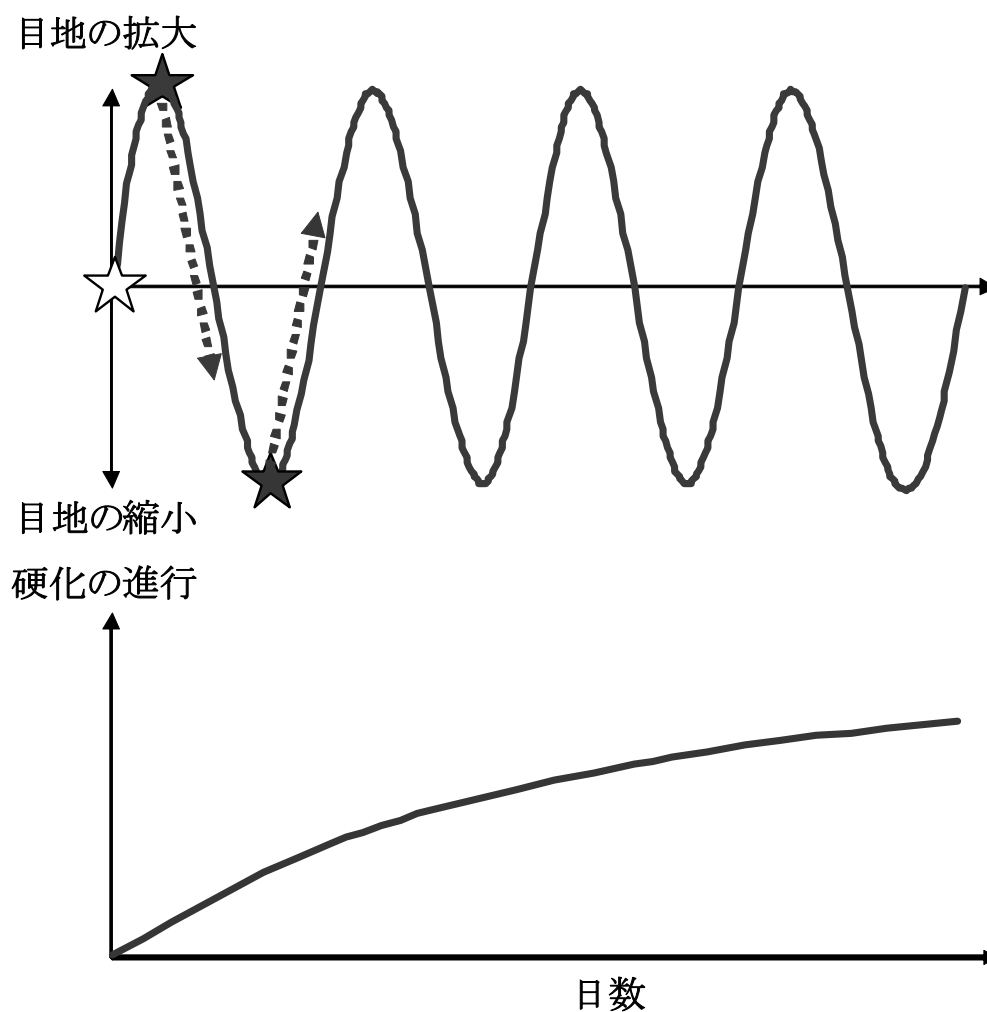


図 1-10 目地の変位状態と硬化進行の概要

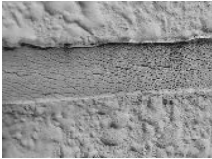
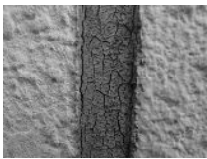
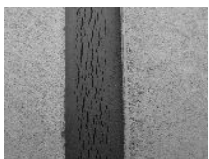

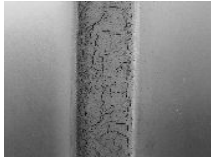
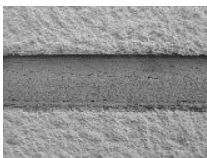
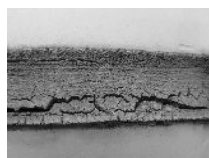
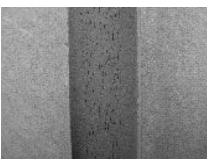
表 1-5 施工時期と不具合現象の概要

施工時期	発生変位	主な発生現象
拡大時	圧縮方向	圧縮セットによるクビレ
縮小時	拡大方向	接着破壊

1.6 実建物における表面劣化の状況

実際の建物における建築用シーリング材表面のひび割れ状態の観察結果を図 1-11 に、劣化状態を観察した目地の実建物の立地概要を図 1-12 及び写真 1-1 に示す。シーリング材施工後、7年から24年経過後の表面状態であるが、2成分形シリコン系シーリング材以外の2成分形変成シリコン系及び2成分形ポリサルファイド系はいずれも表面にひび割れが発生している。

目地に発生する伸縮量は構成部材の材質・サイズ及び推定年間部材温度差から推定すると、約1~6%の範囲となり、発生したひび割れは想定どおり伸縮方向とは垂直の方向を中心に発生していることが確認できた。

経過年数	10年	15年	20年	
				
	【MS-2/西/3%/1F】	【MS-2/西/6%/1F】	【MS-2/西/6%/屋上】	【SR-2/南/2%・1F】
状 況				
	【PS-2/南/1%/1F】	【MS-2/西/2%/1F】	【MS-2/南/6%/屋上塔屋】	
				
		【MS-2/東/4%/屋上】		

- 注) 1.【 】内は、シーリング材種類/方位/推定伸縮率/部位を示す。
 2.シーリング材種類は、MS-2:2成分形変成シリコン系、PS-2:2成分形ポリサルファイド系、SR-2:2成分形シリコン系を示す。

図 1-11 実建物における表面ひび割れ状況

観察した建物は南北に長く、東側及び南側に隣接建物が、また敷地の西側には隣接する敷地の建物もあり、日射は時間帯により遮られる条件となる。

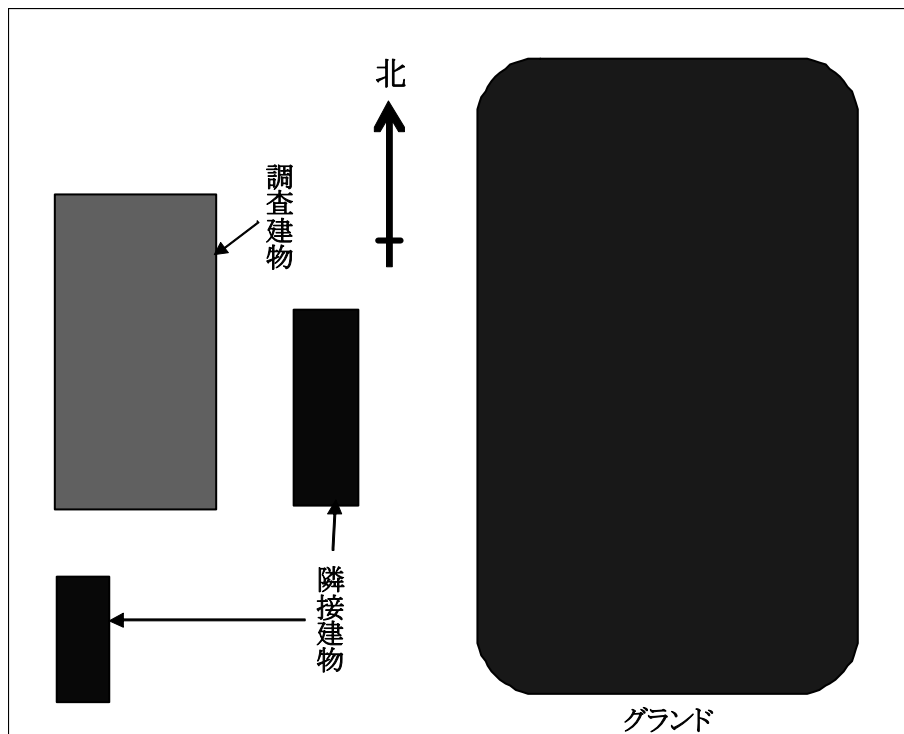


図 1-12 劣化状態調査建物の立地概要



写真 1-1 劣化状態調査建物の概要

1.7 屋外暴露試験に関する既往研究の概要

建築用シーリング材の耐候性に関する研究は1960年代より国内外で多くの研究者・技術者が実施しており、それらの研究結果の概要を以下に示す。

1) Ballantyne 氏、Brown 氏 (1960–1961) ^{6) 7)}

*発生歪みを考慮した試験体により、促進暴露では静的状態で、屋外暴露では静的及び動的状態で試験を実施。

*静的あるいは動的試験での際立った差を指摘。

*ポリサルファイド系シーリング材は、静的状態での促進暴露1000時間に屋外暴露2年間に相当することを提示。

2) Karpati 氏 (1977–1980) ^{8) 9) 10)}

*動暴露試験機を用い、静的及び動的状態での屋外暴露及び促進暴露を実施し、歪みサイクルムーブメントは欠陥原因に対する大きな要因で、静的状態での試験は無視できることを指摘。

*ポリサルファイド系シーリング材の評価で、シーリング材の変形欠陥に対する重要な因子はサイクルムーブメントで、サイクルムーブメントを伴わない屋外暴露及び促進暴露試験は意味がないことを指摘。

*実験範囲内でのムーブメント伸縮率によるシーリング材の寿命予測を行い、動的疲労が原因となる欠陥を指摘。

3) Beech 氏、Beaseley 氏 (1992–1996) ^{11) 12) 13)}

*イングランド南部/中東/西アフリカの3地域での屋外暴露試験と熱・紫外線及び湿度による促進試験をポリサルファイド系・ポリウレタン系及びシリコン系シーリング材について行い、物理的性質の変化を直線回帰分析により、8週間の紫外線照射がイングランド南部での1年間の暴露に相当することを指摘。

4) Sandberg 氏 (1991) ¹⁴⁾

*屋外暴露と促進暴露における物理的性質の変化を評価し、耐久性の尺度として”Quantitative Safety Factor”を提案し、ムーブメントの付与が劣化プロセスを著しく促進することを指摘。

5) Bolt 氏、Boettger 氏 (1996–2000) ^{15) 16) 17) 18)}

*熱老化は紫外線・湿度に対し敏感でないシーリング材の劣化について適した研究方法であるが、それらに敏感なシーリング材については熱・湿度・紫外線を複合した劣化試験が適用されるべきと指摘。

6) 小池迪夫氏、田中享二氏、宗像安則氏、富板崇氏 (1977–1979) ^{19) 20) 21) 22)}

*暴露ムーブメント試験機は最も信頼性のあるシーリング材の試験方法であり、促進試

験機の妥当性の判断基準として活用すべきと提唱。

*硬化初期段階におけるシーリング材とバックアップ材の密着状態による欠陥発生を指摘。

*耐久性評価における硬化過程における温度とムーブメントの重要性を指摘。

7) 松本洋一氏、小野正氏、丸一俊夫氏 (1980-1987) ^{23) 24) 25) 26)}

*静的試験のみでは欠陥の発生を予測できないことを指摘。

*表面にひび割れが発生するシーリング材が多いが、9年間の屋外暴露でそれらが成長し全厚が破断することはないと報告。

*動的暴露試験を行い、寿命分布に影響を及ぼす硬化状況とムーブメントについて報告。

8) Lacasse 氏 (1998) ²⁷⁾

*ムーブメント許容度を評価するため40年間の気象データを解析し、同暴露試験への適用を行った。

9) Wolf 氏 (1999) ²⁸⁾

*建築用シーリング材の耐候性研究に関する現在までの経緯を総括。以下にその概要を示す。

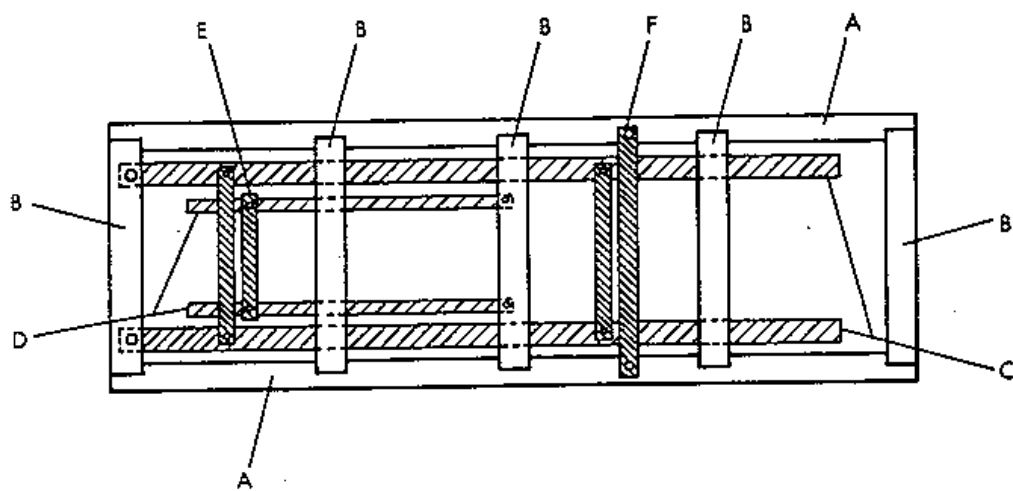
- ・それぞれのシーリング材は促進暴露及び屋外暴露において配合特有の特性を示すため、すべてのシーリング材に適用できる気象等級や促進要因を確立することは不可能である。

- ・屋外暴露で観察された劣化状態は促進暴露によっても再現できるが、現在までに公表された試験方法は長期間の屋外暴露試験結果と良好な相関性を示していない。従って、促進暴露試験結果による相当する時間等の単純化は注意が払われるべきである。

- ・現在の仕様書や試験規格における暴露条件への要求内容は妥当性に問題がある。

図1-13にK a r p a t i氏が開発した動的屋外暴露試験機の構造原理と、試験体取付状況を写真1-2に示す。写真1-3-1~2にK a r p a t i氏及び小池氏等が開発した動暴露試験機の概要を示す。

基本原理は構造部材の温度変化による熱伸縮に伴う変位を試験体に作用させるもので、屋外暴露場所の気象条件に劣化を連動させたものである。



A: Steel bar, B: Steel plate, C: Aluminum bar,
D: Aluminum bar, E: Plate, F: Steel frame

図 1-13 Karpatti 氏開発の動的屋外暴露試験機の原理

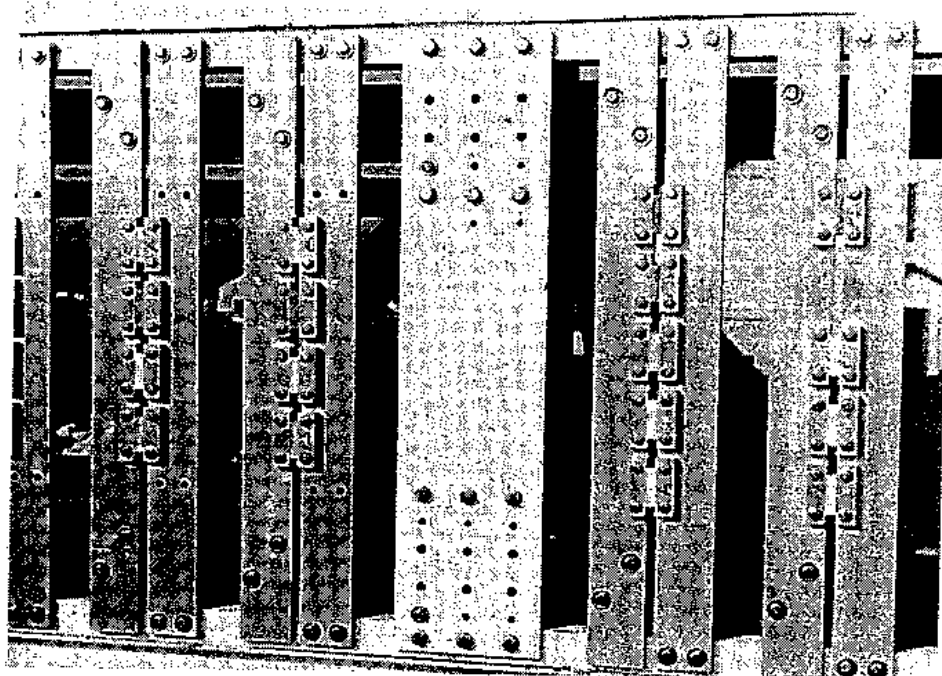


写真 1-2 Karpatti 氏開発試験機への試験体取付け状態

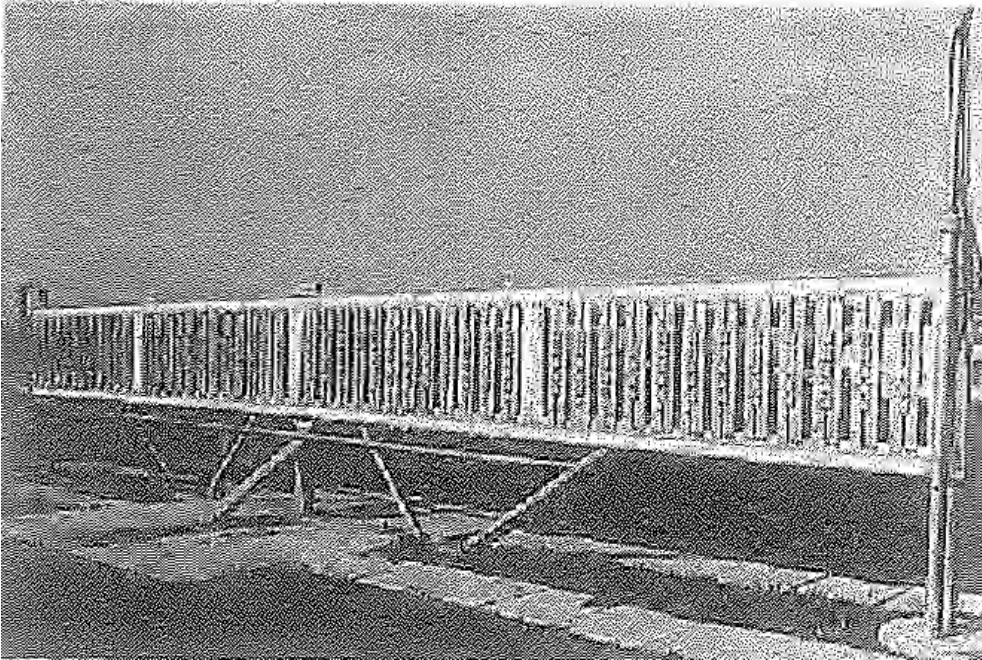


写真 1-3-1 K a r p a t i 氏開発の動暴露試験機



写真 1-3-2 小池氏、田中氏開発の動暴露試験機同型機

既往研究の調査結果より得られた、耐候評価における現在の課題点の概要を以下に示す。

- * ムーブメントは耐候劣化に対する重要な因子である。
- * 耐候劣化による外観変化の判定は定性的である。
- * すべてのシーリング材及び素材分類に対し、有効な気候分類や促進要因の確立は困難である。
- * 現在までの試験方法は、長期間の屋外暴露試験結果と良好な相関性がない。
- * 現在の試験方法で規定されている試験条件は不適當である。

以上の状況より建築用シーリング材の耐候劣化研究において、今後の解決すべき重要な課題点は以下の通りであると考えた。

- I 動的評価が不可欠
- II 屋外暴露試験装置の小型化
- III 劣化状態判定の定量化

1.8 本研究の範囲

本研究の範囲は、写真 1-4 に示す屋外暴露における耐候劣化に伴うシーリング材表面のひび割れ状態（クラックの量と大きさ）変化の定量化に限定し、耐候劣化に伴う白亜化・変退色及び微生物（黴・藻等）の影響は対象外とした。



写真 1-4 耐候劣化による表面のひび割れ

第2章

新しい試験方法の提案

2.1 はじめに

建築用シーリング材の耐候性に関する既往の研究結果より、以下の事項に課題があることを確認した。

- * 耐候劣化の評価には動的な評価が不可欠である。
- * 動的屋外暴露試験機が大型化し、装着できる試験体数が限定される。また、耐候劣化の評価は試験機を設置した地域の気象環境が反映されるが、気象環境が異なった地域へ複数の大型試験機を設置することは経済的でない。
- * 耐候劣化に伴う表面ひび割れの判定は定性的で、評価及び相対的な比較が不正確となる。

以上の課題点を解決するため、新たな耐候性試験方法を構築することを試みた。

2.2 目地幅可変型試験体

建築用シーリング材の耐候性は目地に発生する伸縮変形量に大きく影響されるため、図 2-1 に示すよう L 形アルミ板を使用し、中央部を回転軸で固定し目地に連続的な伸縮変形を付与できる目地幅可変型試験体を考案した。また、静的状態での評価を行うための目地幅固定型試験体を図 2-2 に示す。

目地底となる固定用平板に三面接着を防ぐためシーリング材が接着しないテープを選定しボンドブレーカーとして貼付け、試験体端部に 30% の目地幅拡大のための固定板を設置することで目地の半分は中央部を中心に引張変形が、逆に反対側は圧縮変形を付与できる特徴を有する。なお、固定軸が目地際より離れているため、中央部でも $\pm 1.5\%$ の伸縮変形が発生する。

なお、目地幅を伸縮状態にする場合は、図 2-1 の固定板用溝に伸長率が 30% になるよう調整したアルミ製のスペーサーを用い、反対側の端部をペンチ等で圧縮し引張部を拡張し固定用スペーサーをセットする。目地形状変形時の変形速度は 50~100mm/分程度を基準とした。

目地部にシーリング材を充填し所定期間硬化養生を行った後、目地端部に引張変形を付与する工程を写真 2-1 に示す。

まず無変形状態の試験体にシーリング材を充填し硬化養生を行った後、目地の端部に伸長用スペーサーを固定し、一定時間経過後に反対側の端部を引張状態とする。

目地の変形は、温度変化に伴い引張/圧縮が繰り返し発生するため、所定期間変形状態を保った後、目地拡大固定板を逆の端部に移動することで、引張変形部が圧縮変形状態に、逆に圧縮変形部が引張変形状態となる。この操作を繰り返すことにより、継続的に目地に $\pm 1.5\sim\pm 30\%$ の伸縮変形を連続的に付与することができる。伸縮変形の工程を図 2-3 に示す。

なお、目地に発生する温度ムーブメントによる伸縮率の設定は、現行仕様書⁵⁾では $\pm 20\%$ が最大であるため、今回の新規試験方法では伸縮率 $\pm 30\%$ を最大値とした。付与伸縮率は更に上げることも可能であるが、適用シーリング材の変形時の発生モジュラスより回転軸を中心に試験体に破損等の欠陥が生じる可能性があるため、最大設定伸縮率は $\pm 30\%$ を基準とした。

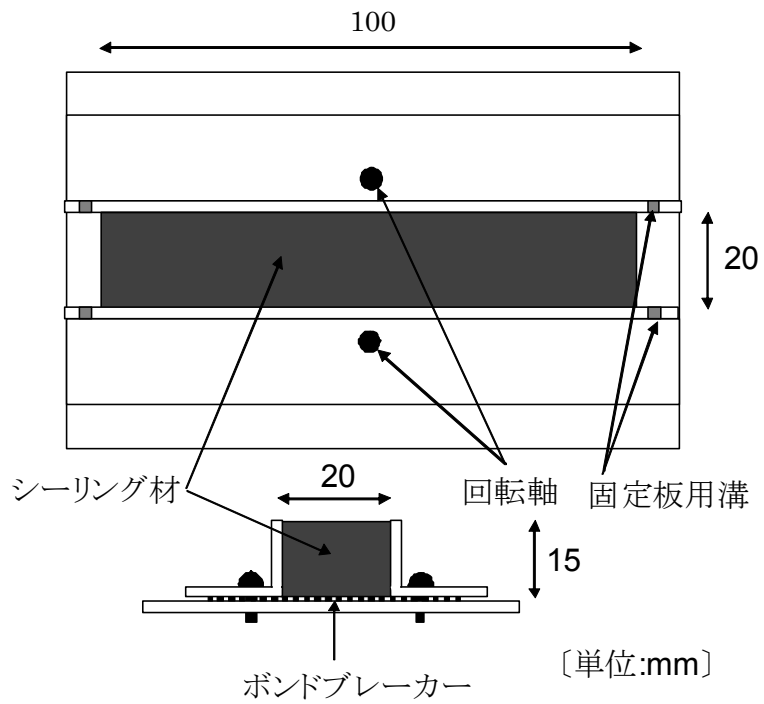


図 2-1 目地幅可変型試験体の概要

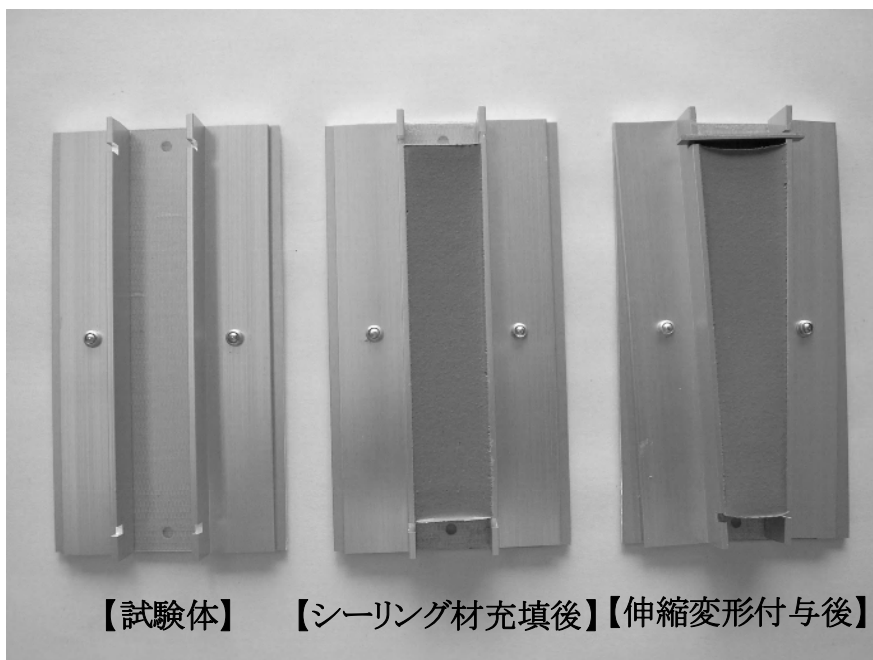


写真 2-1 試験の工程概要

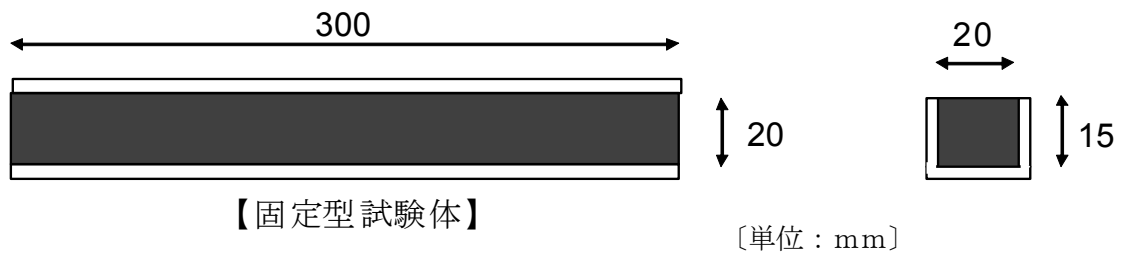


図 2-2 目地幅固定型試験体

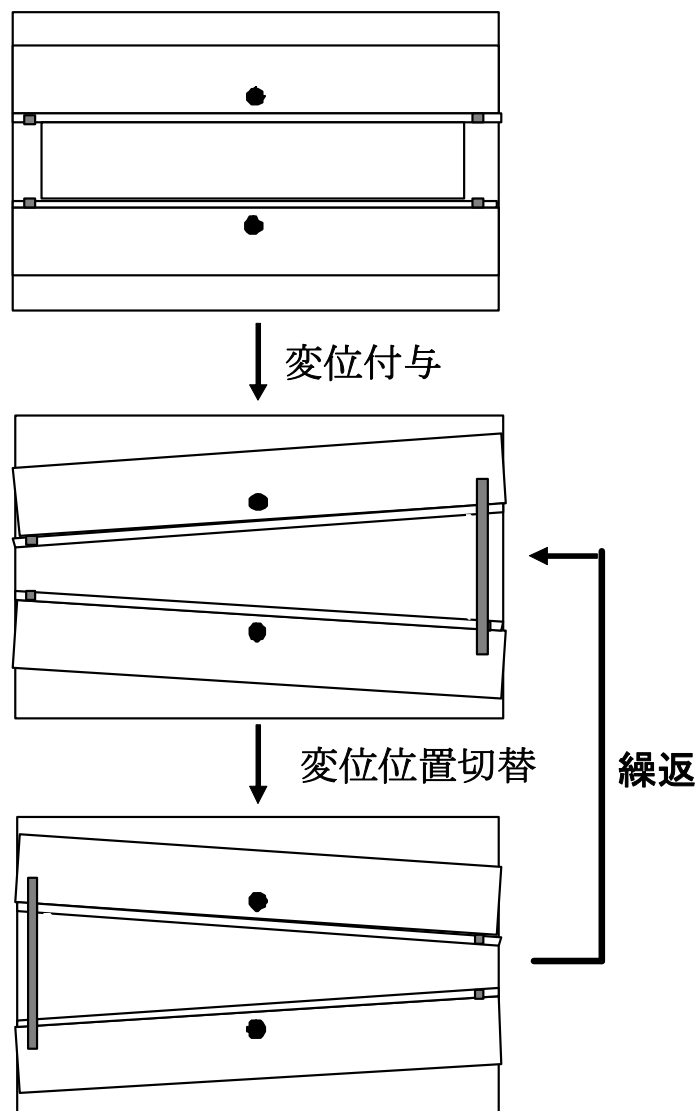


図 2-3 伸縮変形付与工程

2.3 表面ひび割れ状態の判定

従来、耐候劣化に伴う表面ひび割れの状態は、“good”や“poor”など定性的な尺度による定性的な判断が多く、ひび割れ状態の詳細な判断や比較が困難であった。

1997年に開催された建築用シーリング材のISO会議（ISO/TC59/SC8）で英国より表面ひび割れの判定に関し、ISO規格²⁹⁾で規定されているクラックの量(Q)と大きさ(S)に対する判定基準が紹介された。

ISO規格で規定されたクラックの量と大きさの判定基準を表2-1に、またクラックの量(Q)の判定パターンを図2-4に示す。ただし、ISO規格では拡大率10倍で目視できるクラック状態が最小となり、それより微小なクラックが出来るよう、今回の研究ではより微細なクラックが判定できるよう新たに追加設定した判定基準を表2-1に斜字で示す。

表2-1 ISOでのクラックの判定基準

評価	クラックの量 (Q)	評価	クラックの大きさ (S)
0	なし	0	<i>拡大率100倍で見えず</i>
<i>0.5</i>	<i>痕跡</i>	<i>0.3</i>	<i>拡大率50倍で見える</i>
1	極僅か	<i>0.5</i>	<i>拡大率30倍で見える</i>
2	僅か	1	拡大率10倍で見える
3	若干	2	正常な目視で見える
4	かなり	3	正常な目視ではつきり見える
5	密	4	幅1mm未満のクラック
		5	幅1mm以上のクラック

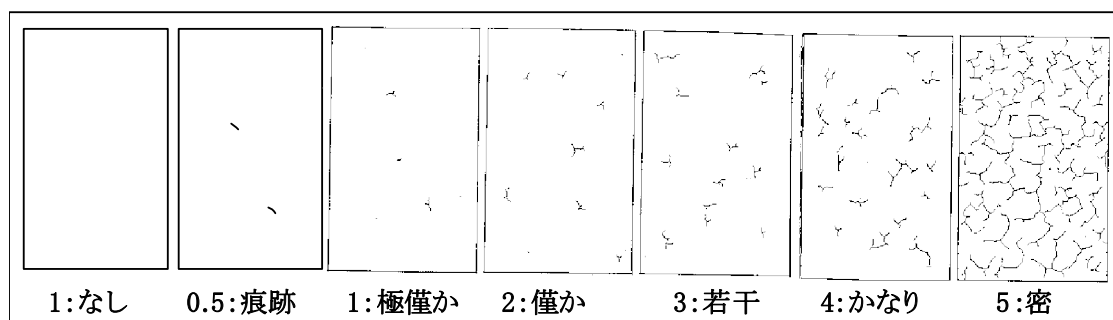


図2-4 クラックの量 (Q) の判定パターン

2.4 表面クラック状態の定量化

2.4.1 表面劣化度としてのQS値の設定

ISO規格におけるクラック状態の判定尺度を参考に、対象部位として2cm×1cmの範囲に対し、式(1)に示すクラックの量(Q)と大きさ(S)の数値を掛け合わせた積値をQS値とし、表面ひび割れ状態を表す尺度として設定した。

これはクラックの量(Q)はひび割れの長さを尺度化し、またクラックの大きさ(S)はひび割れの幅を尺度化しており、“長さ×幅”はひび割れの面積を表すものと判断したためである。

$$QS(t) = Q(t) \times S(t) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

QS(t) : tヶ月後のQS値

Q(t) : tヶ月後のQ値

S(t) : tヶ月後のS値

2.4.2 QS値と表面劣化度の目安

表面ひび割れの尺度としてのQS値は、Q値及びS値がそれぞれ0から5の評価で規定されていることより、最小は0から最大は25までの範囲で表される。

目地幅可変型試験体における表面ひび割れ状態の例を写真2-2に、またQS値の5段階毎の表面ひび割れの状態の目安を図2-5に示す。



写真2-2 表面ひび割れの例

QS値が10以下の場合、表面ひび割れ状態は視覚的には僅かであるが、QS値が15以上になると目視でも明確に判断でき、さらに20以上になると際立ったひび割れを示す状態となる。

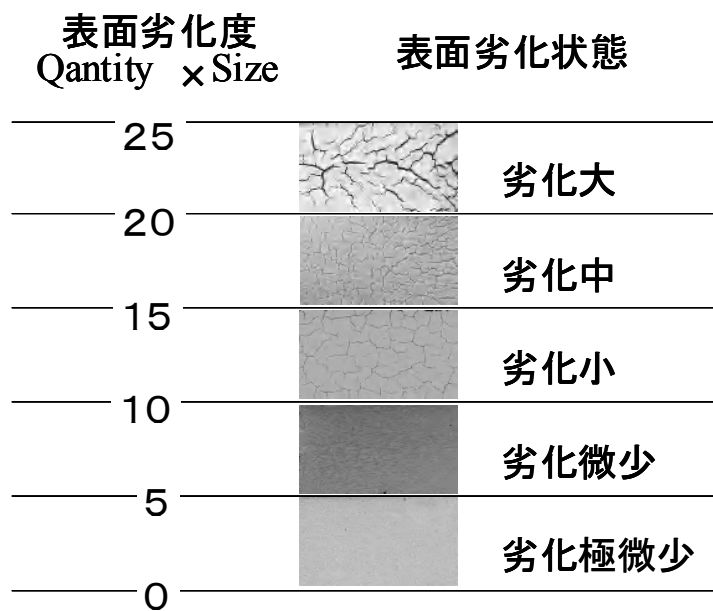


図 2-5 QS値と表面劣化状態の目安

2.5 新しい試験方法の妥当性検証

2.5.1 QS値の妥当性

表面ひび割れ状態の尺度としてのQS値の妥当性を検証するため、試験体表面のひび割れをデジタル写真機で撮影した後、図2-6に示すよう表面を白色と黒色の二値化処理を行い、ひび割れ個所を表す黒色部分が基準面積に占める割合を求めた。

N=51の試験体で同様の処理を行い、観測したQS値とデジタル処理を行ったクラック面積割合の関係を図2-7に示す。

QS値とクラック面積割合の相関関係は相関係数が0.87となり、以後の検討はQS値をひび割れの判定尺度として用いても問題ないと判断した。なお、ISOにもとづくクラックの判定基準は基本的に順位尺度であり、クラック状態の評価判定における差が図2-7に示す相関のバラツキに影響するものと考えられる。

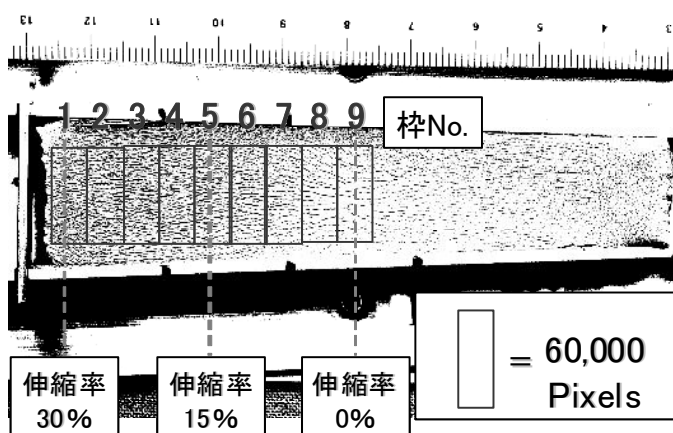


図2-6 表面ひび割れの二値化処理

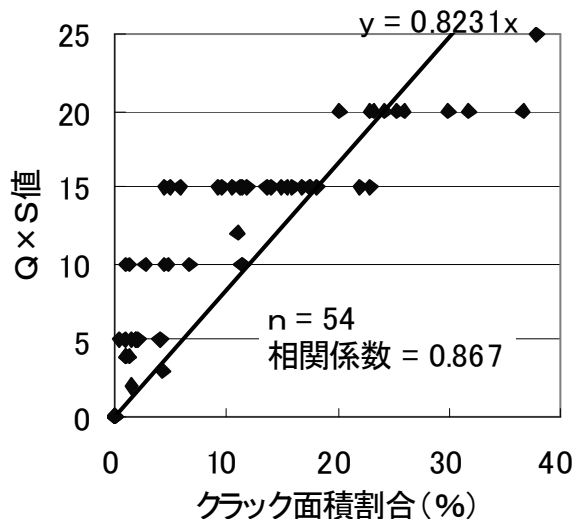


図2-7 QS値とクラック面積割合の関係

2.5.2 伸縮変形時の形状の影響に関する確認

①試験体の概要

実際の目地は温度伸縮により目地際が並行な状態で引張状態/圧縮状態になるが、今回の新しい試験体は中央部の回転軸を中心に割裂状態で目地に変形が加わることとなる。

変形状態の差の表面のひび割れへの影響を確認するため、図2-8に示す試験体で評価を行った。

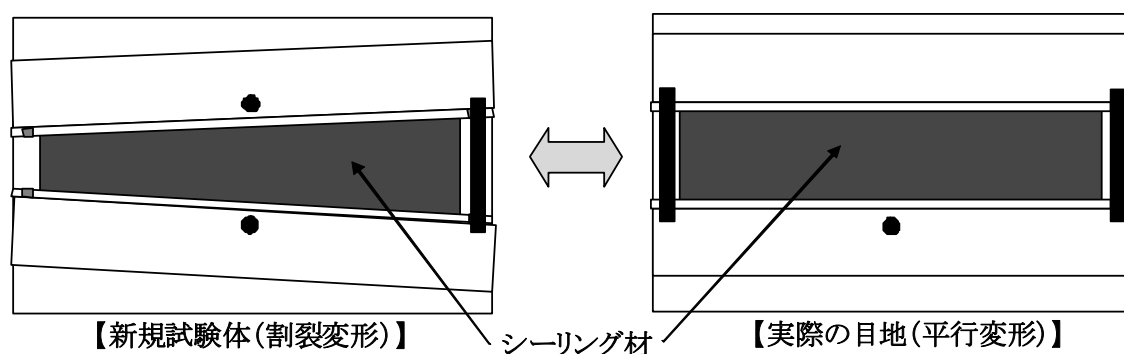


図2-8 変形状態の影響確認のための試験体の概要

②試験条件

試験は2成分形変成シリコン系シーリング材 (MS-2) と2成分形ポリウレタン系シーリング材 (PU-2) を用い、耐候劣化にはJIS A 1415³⁰⁾にもとづく光源のオープンフレーム・カーボンアーク・ランプにより、引張15%及び25%部のひび割れ状態を観測した。表2-2に試験条件を示す。

なお、伸縮変形は最大±30%の変位を加えたが、試験体端部は開放系となりシーリング材断面の影響を受けるため、観測は最大値±30%より断面形状の影響を受けない±25%の個所で行った。

表2-2 試験条件

項目	条件
変形方法	割裂変形、平行変形
試験シーリング材	MS-2、PU-2
劣化状態観察部位	引張15%、引張25%
耐候劣化条件	SWOM*:500、1000時間

注) SWOM: オープンフレーム・カーボンアーク・ランプ

③試験結果

試験体の変位状態に関し、実際の目地での伸縮状態を再現する並行状態での変形と、今回提案の一つの試験体で左右に伸縮状態を付与する割裂状態での変形での暴露時間によるQS値の変化を表2-3と図2-9に示す。

2成分形変成シリコン系シーリング材及び2成分形ポリウレタン系シーリング材とも、伸縮変形状態によるQS値の変化に差はないものと判断できた。

暴露1000時間後の表面ひび割れ状態を写真2-3に示す。

表2-3 変形状態とQS値

暴露時間 (Hr.)	MS-2				PU-2			
	15%引張		25%引張		15%引張		25%引張	
	割裂	平行	割裂	平行	割裂	平行	割裂	平行
0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	2	2	2	2	4	4	4	4
1000	10	10	10	12	15	15	15	15

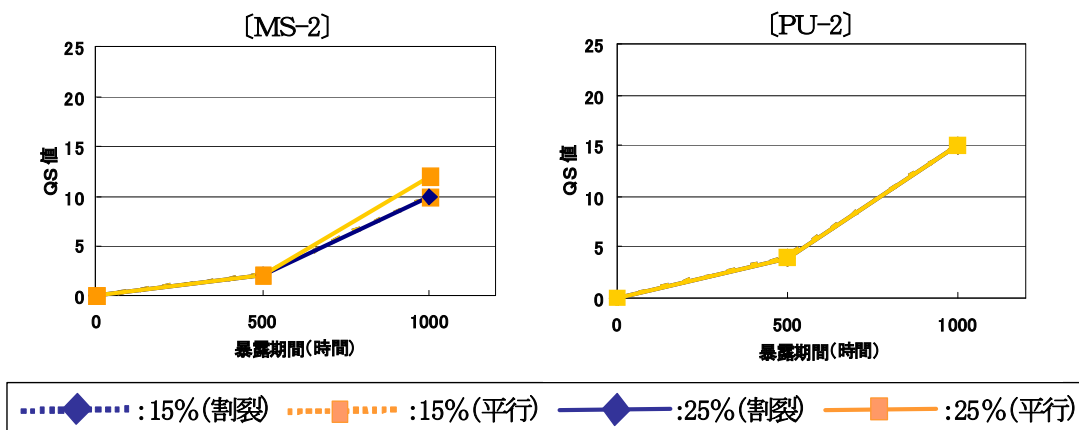
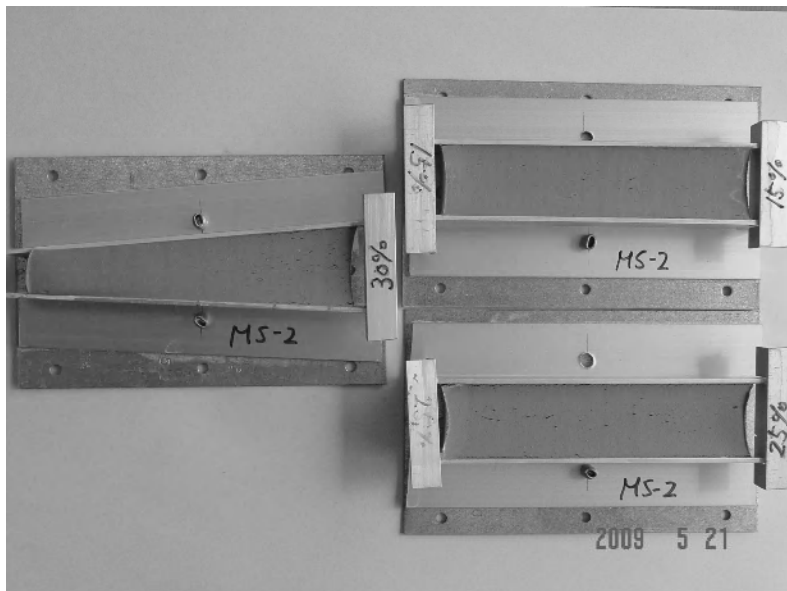


図2-9 暴露期間とQS値変化の関係

【MS-2】



【PU-2】

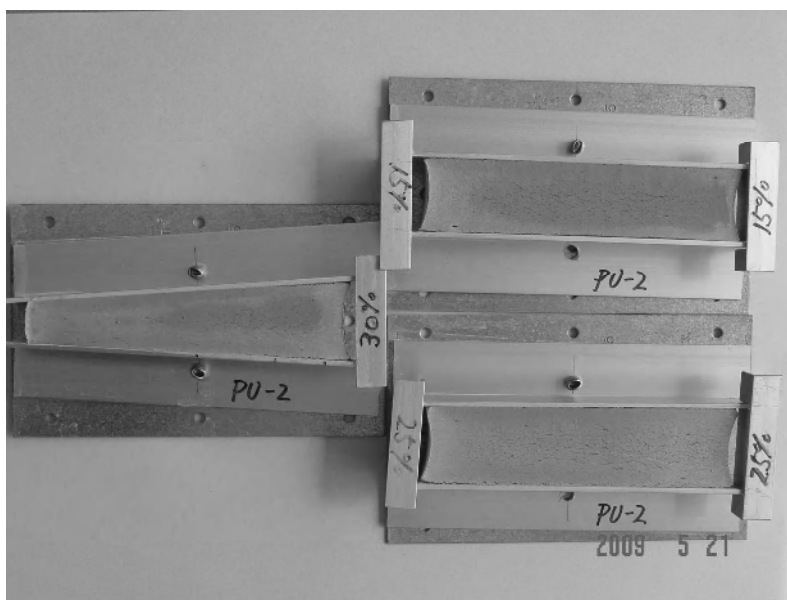


写真 2-3 表面のひび割れ状態（促進暴露 1000 時間後）

2.5.3 伸縮変形時の隣接部位からの影響に関する確認

①試験体の概要

新しい試験体は異なった伸縮変形が連続的に目地に加わるため、隣接する異なった変形状態が表面ひび割れに影響することが考えられる。この影響を確認するため、観測伸縮率毎にシーリング材の縁を切り隣接する部位からの影響の確認を行った。

新規提案の試験体は連続的に異なった伸縮率の部位が隣接するが、各観測を行う伸縮率の間にバックアップ材を挿入し、各伸縮率が独立した状態で変形できるようにした。

試験体の概要を図2-10に示す。

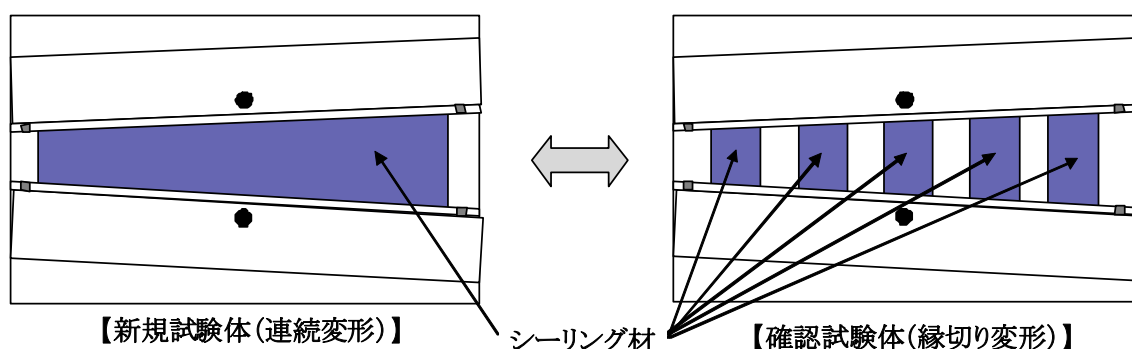


図2-10 試験体の概要

②試験条件

上記2種類の形状の試験体を用い、表2-4に示す条件にて隣接部位からの表面ひび割れに対する影響の確認を行った。

表2-4 試験条件

項 目	条 件
変形方法	連続変形、縁切り変形
試験シーリング材	MS-2、PU-2
劣化状態観察部位	中央部、引張15%、引張25%
劣化方法	SWOM* :500、1000時間

注) SWOM:オープンフレーム・カーボンアーク・ランプ

③試験結果

隣接部位からの伸縮状態の影響を受ける新規提案の連続状態で変形する試験体と、隣接部位からの変形の影響を排除した縁切り状態の試験体の暴露時間によるQ S 値変化を表 2-5 及び図 2-11 に、さらに表面ひび割れ状態を写真 2-4 に示す。

試験結果より連続変形試験体と縁切り変形試験体の双方とも同一のQ S 値変化を示し、新規提案の目地幅可変型試験体は隣接部位からの影響はないと判断された。

表 2-5 目地形状とQ S 値

暴露時間 (Hr.)	MS-2						PU-2					
	1.5%引張		15%引張		25%引張		1.5%引張		15%引張		25%引張	
	連続	縁切り	連続	縁切り	連続	縁切り	連続	縁切り	連続	縁切り	連続	縁切り
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	1	1	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
1000	5	5	10	10	10	10	8	8	15	15	15	15

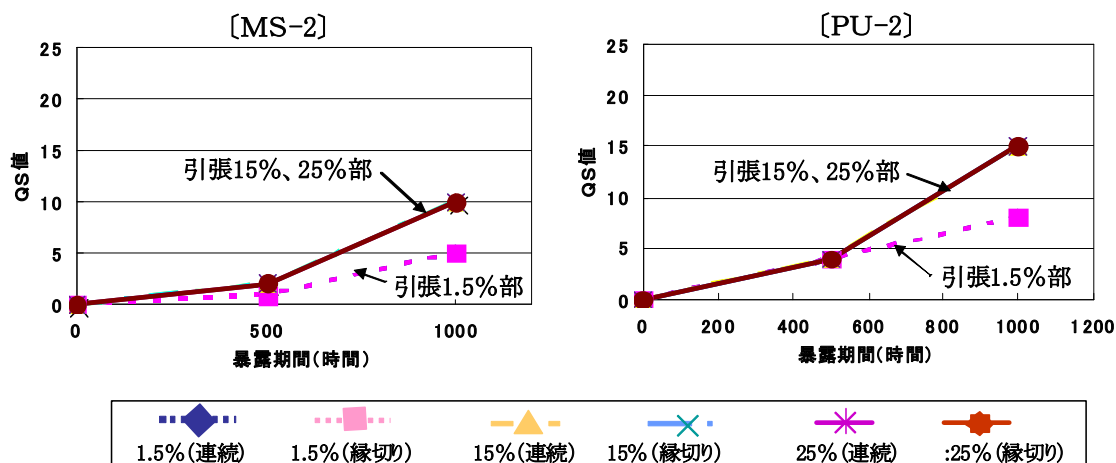
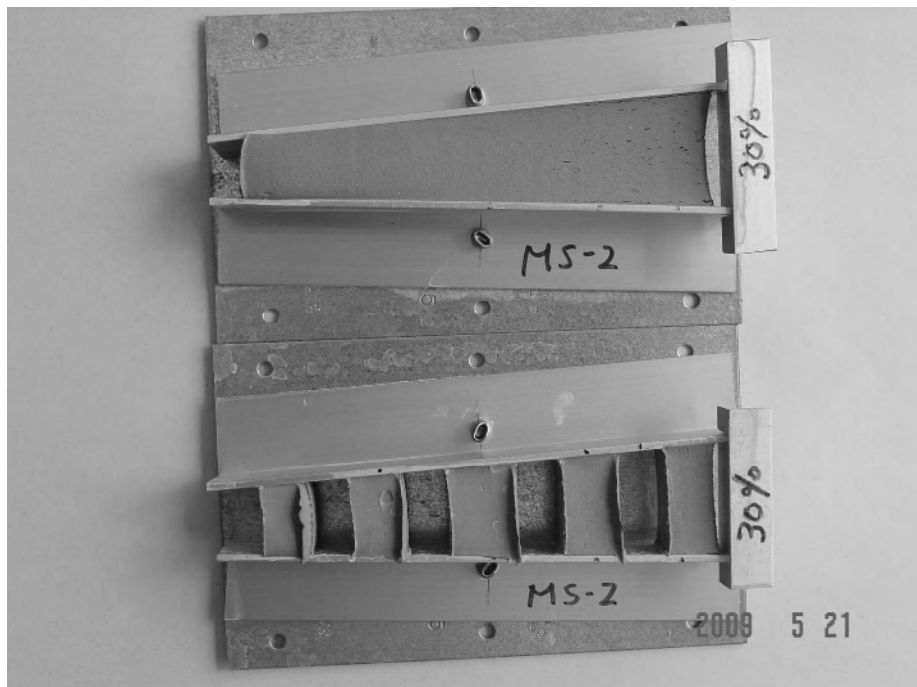


図 2-11 暴露期間とQ S 値変化の関係

【MS-2】



【PU-2】

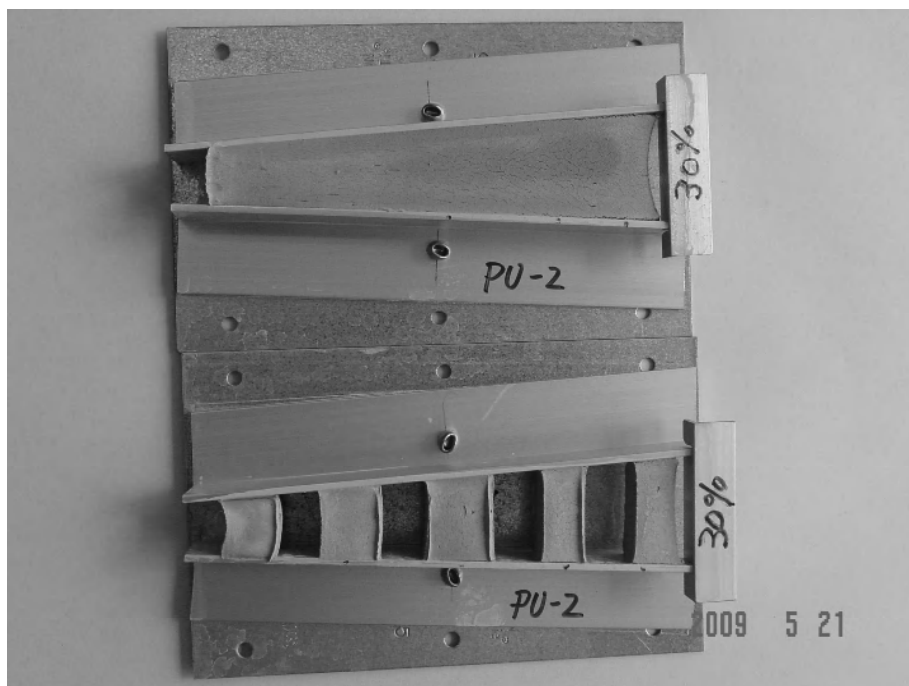


写真 2-4 表面ひび割れ状態（促進暴露 1000 時間後）

2.5.4 伸縮変形付与頻度の影響

①試験条件

目地に加わる伸縮変形は日間の温度差により発生するため、原則的には毎日試験体に伸縮変形が加わることが理想である。そこで、伸縮変形付与頻度の表面ひび割れ状態への影響を確認するため、表2-6に示す条件にて試験を行った。

伸縮変形付与頻度は、7回/週・2回/週・1回/週・1回/月と変形後伸縮変形付与なしの5条件とし、暴露は山梨県南アルプス市で2年間行った。伸縮変形付与の工程パターンを図2-12に、試験状況を写真2-5に示す。

表2-6 試験条件

項 目	条 件
伸縮変形付与頻度	7回/週、2回/週、1回/週、1回/月、なし（変形後）
シーリング材	MS-2、PS-2、MS-1、PU-2
暴露期間	2007年2月～2009年1月（24ヶ月）
劣化状態の判定	QS値
観測部位	±1.5%、±15%、±25%
暴露場所	山梨県南アルプス市
試験体暴露条件	南面・45°

注) 1) シーリング材はS社製品使用

MS-2：2成分形変成シリコーン系、PS-2：2成分形ポリサルファイド系

MS-1：1成分形変成シリコーン系、PU-2：2成分形ポリウレタン系

2) PS-2の7回/週は3ヶ月後に剥離発生のためデータ削除



写真2-5 試験状況

伸縮変形付与は図 2-1 に示すよう標準硬化後の試験体に伸縮変形を付与し、表 2-6 に示す所定の期間暴露を行い、所定の期間終了後に伸縮変形位置を切替えし、以後その工程を繰り返した。

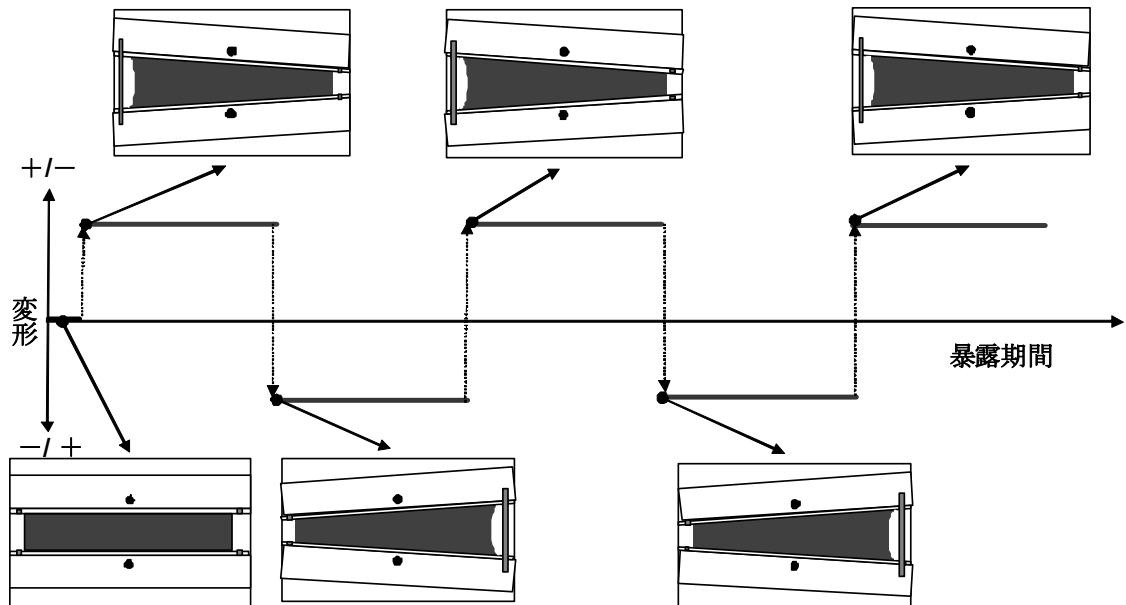


図 2-12 伸縮変形付与工程

②試験結果

伸縮状態付与頻度の表面ひび割れ状態への影響に関する試験を行った結果、変形後伸縮なしの条件に対し、1ヶ月に1回以上の伸縮変形を付与した条件では表面ひび割れ状態の尺度としたQS値に差はないと判断できた。この結果より、新規提案の試験体への伸縮変形付与頻度は1回/月以上であれば表面ひび割れ状態に差は生じないものと判断された。

試験の作業効率を考慮し、1回/月以上の頻度であれば任意の頻度を選定することが可能である。

耐候劣化後のQS値を表2-7に、QS値と暴露期間の関係を図2-13-1~12に、屋外暴露2年後の表面ひび割れ状態を写真2-6-1~4に示す。

表2-7 伸縮付与頻度とQS値

シーリング材	切替 頻度 *1	暴露期間(月)																	
		0			3			6			12			18			24		
		±1.5 %	±15 %	±25 %	±1.5 %	±15 %	±25 %	±1.5 %	±15 %	±25 %	±1.5 %	±15 %	±25 %	±1.5 %	±15 %	±25 %	±1.5 %	±15 %	±25 %
MS-2 (汎用)	7/W	0	0	0	3	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	10	4	10	10
	2/W	0	0	0	1.8	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	10	5	10	10
	1/W	0	0	0	1.5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	10	4	10	10
	1/M	0	0	0	1.2	5	5	1.2	5	5	2	5	5	4	5	10	4	10	10
	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	3
PS-2	7/W	0	0	0	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2	—*2
	2/W	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	5	0	5	5	1	5	5
	1/W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	4	4	1	5	5
	1/M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	4	3	1	5	6
	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MS-1	7/W	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	3	4	5	3	4	5	6	8	10
	2/W	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0	0	0	5	5	5	5	5	5	8	10	10
	1/W	0	0	0	0	0.3	0.3	0	0	0	5	4	5	5	5	5	8	10	10
	1/M	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	5	5	5	5	5	5	8	10	10
	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0.6	1	2	2
PU-2	7/W	0	0	0	10	15	20	15	20	20	15	20	20	20	25	25	20	25	25
	2/W	0	0	0	10	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	20	20	25	25
	1/W	0	0	0	8	10	10	10	15	15	15	20	20	15	20	25	15	20	25
	1/M	0	0	0	8	10	10	10	15	15	15	20	20	15	20	25	15	20	25
	—	0	0	0	6	8	8	10	15	15	10	15	15	20	20	15	20	20	20

注) 1) 切替え頻度； 7/W：7回/週、2/W：2回/週、1/W：1回/週、1/M：1回/月、
—：変形後切替えなし

2) 屋外暴露3ヶ月以内にシーリング材の剥離が発生し、QS値の観測不可

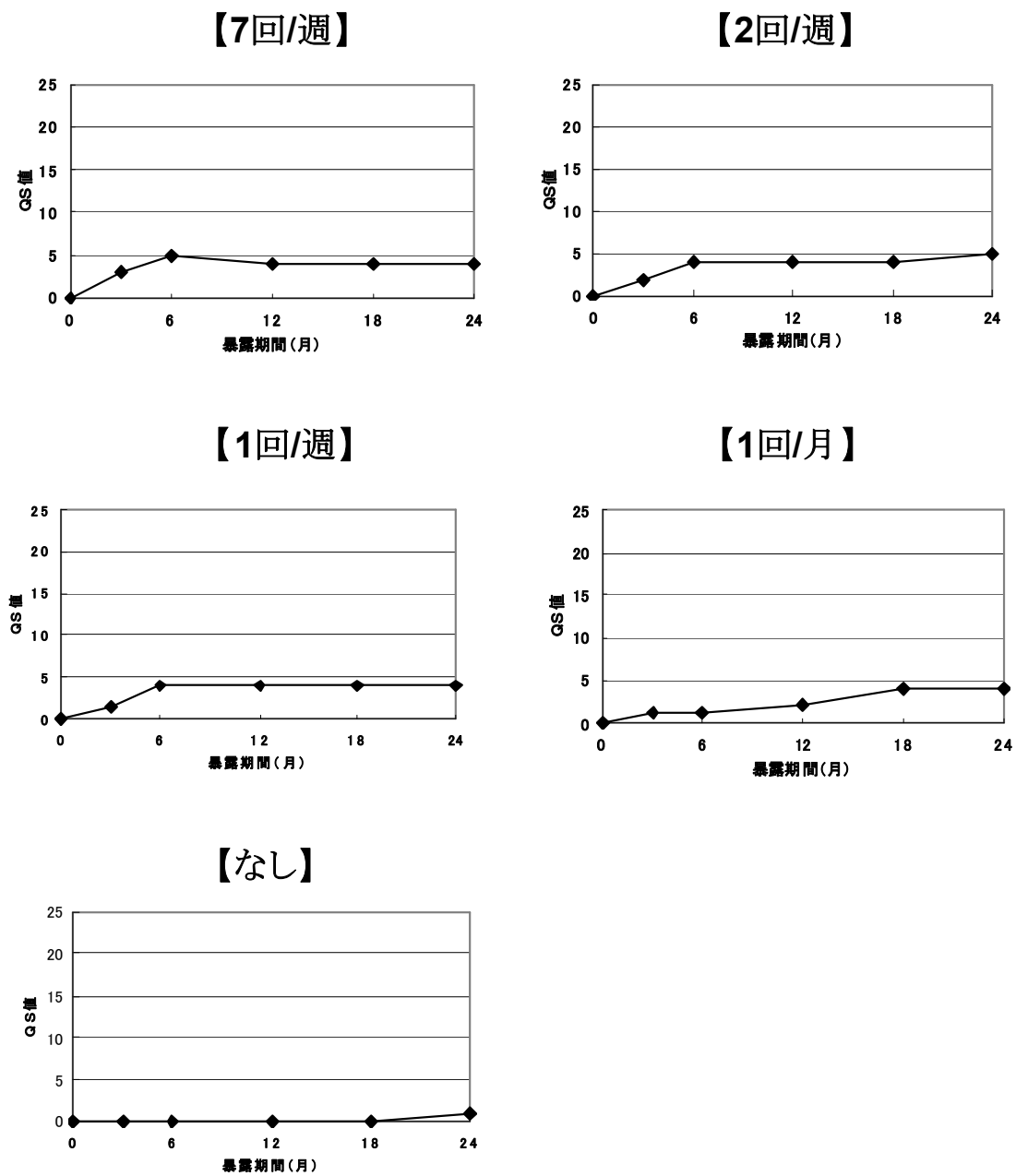
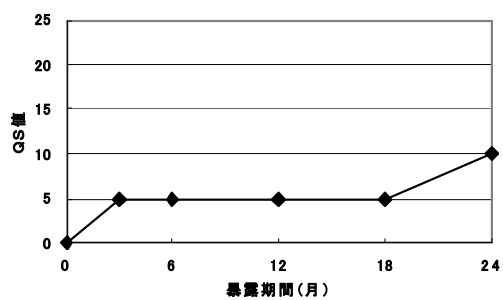
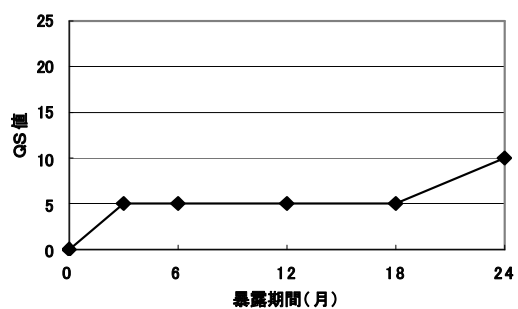


図 2-13-1 暴露期間とQS値の関係 (MS -2/±1.5%)

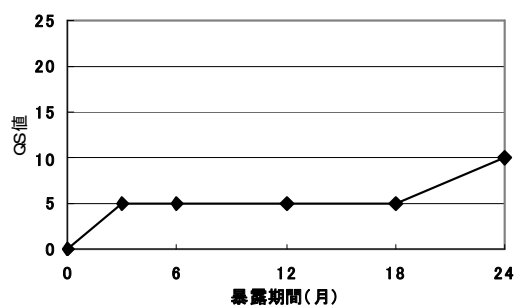
【7回/週】



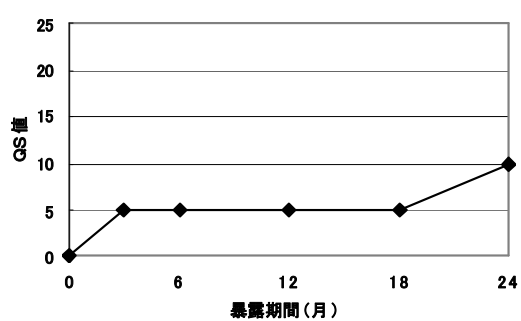
【2回/週】



【1回/週】



【1回/月】



【なし】

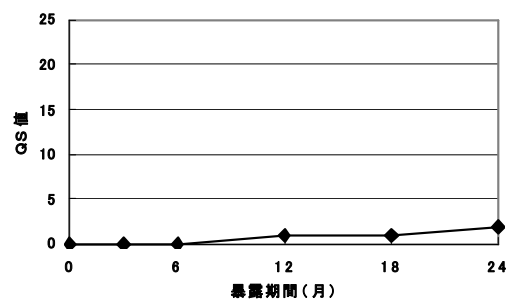


図 2-13-2 暴露期間とQS値の関係 (MS -2/±15%)

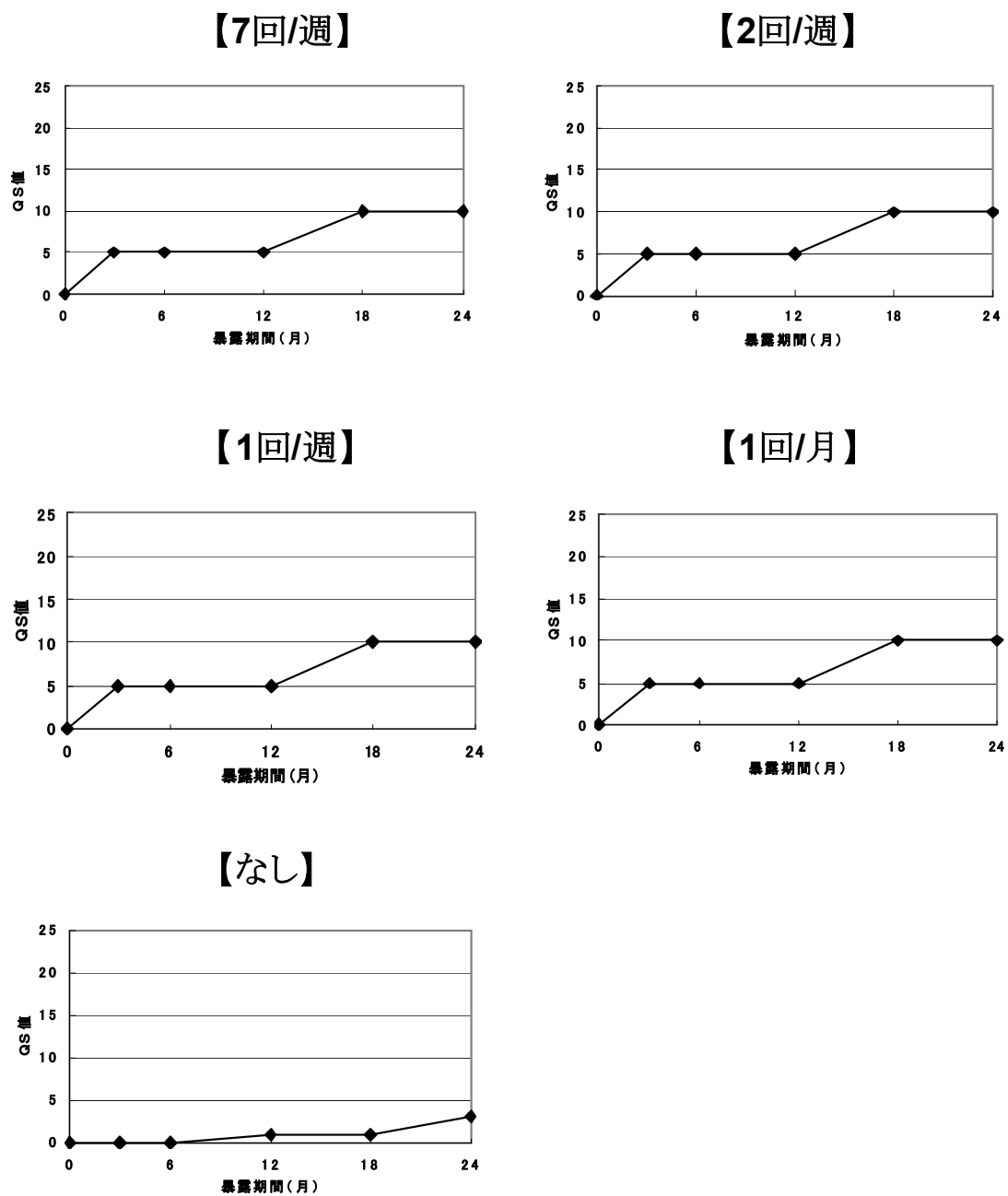


図 2-13-3 暴露期間とQS値の関係 (MS-2/±25%)

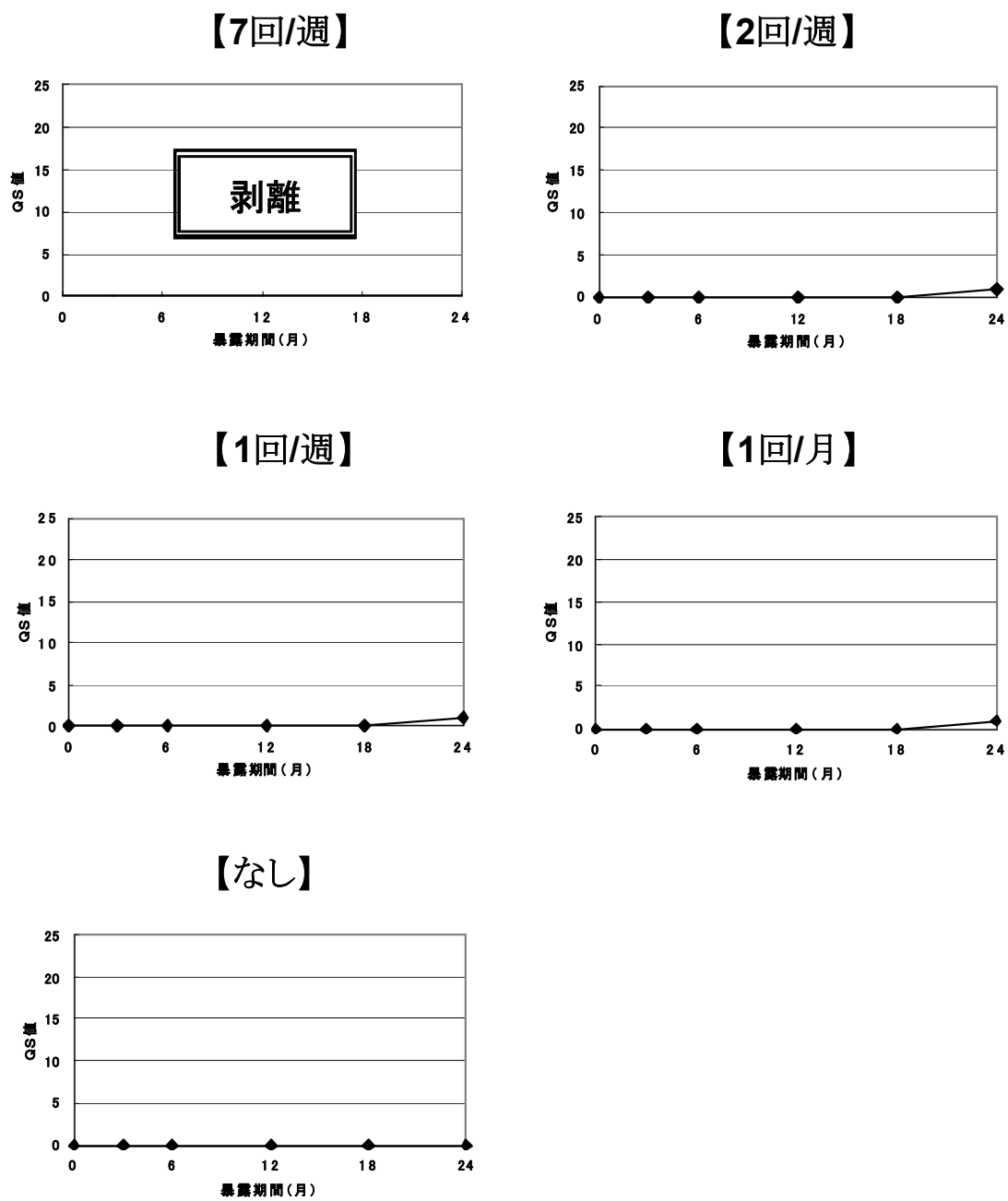


図 2-13-4 暴露期間と QS 値の関係 (PS-2/±1.5%)

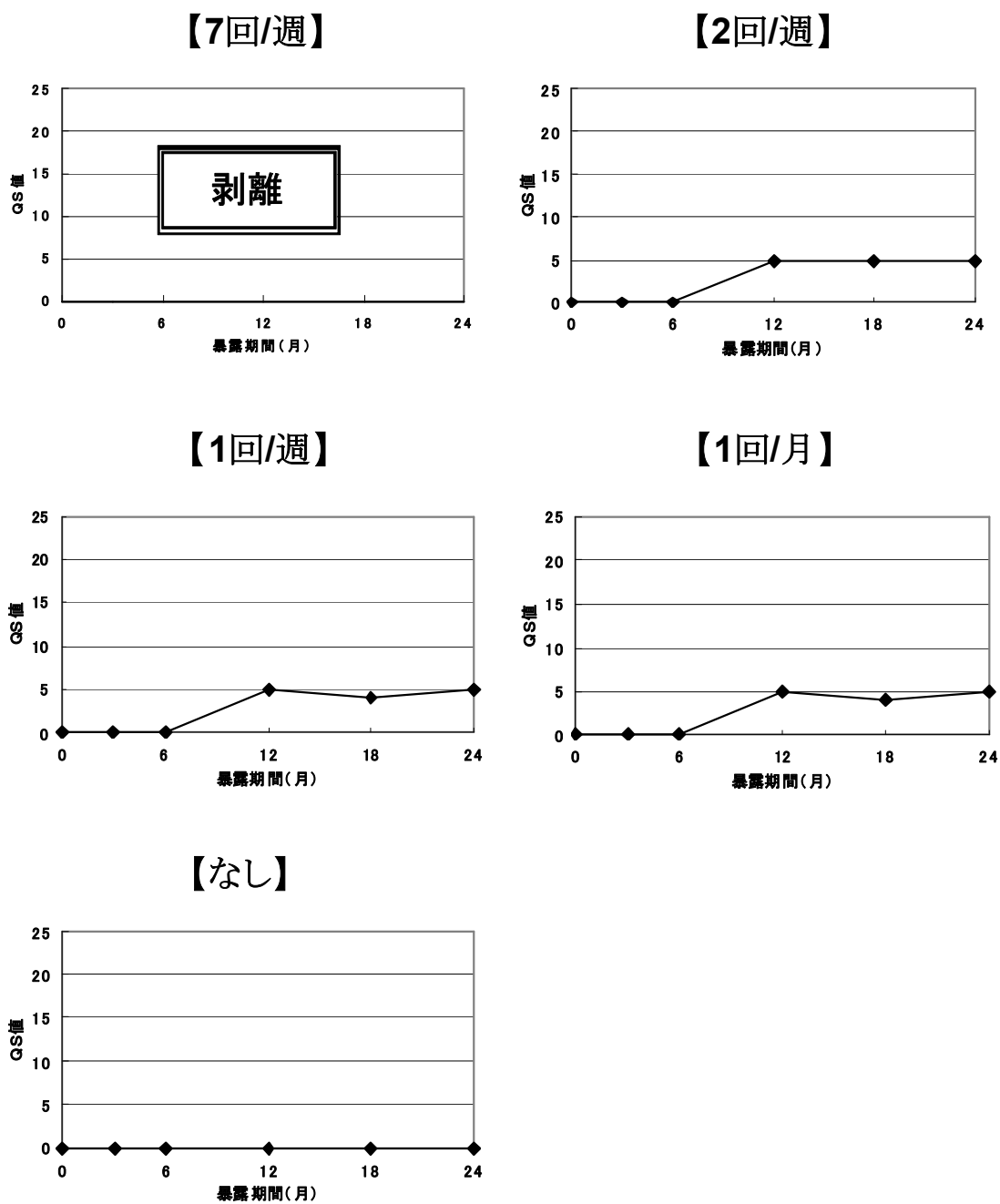


図 2-13-5 暴露期間とQS値の関係 (PS-2/±15%)

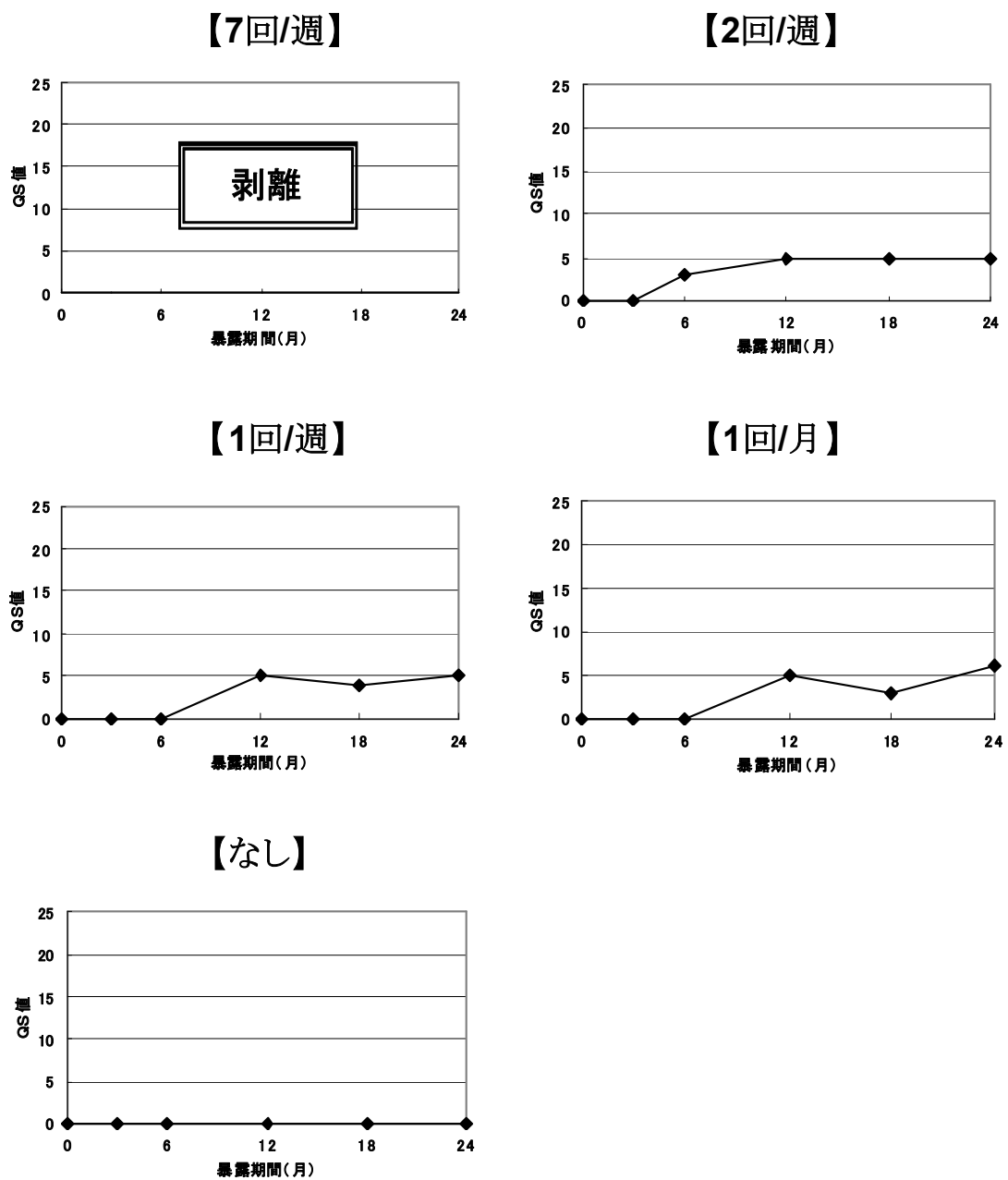
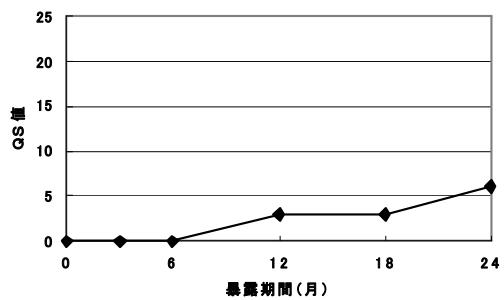
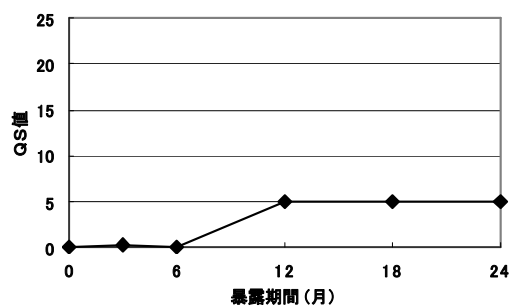


図 2-13-6 暴露期間とQS値の関係 (PS-2/±25%)

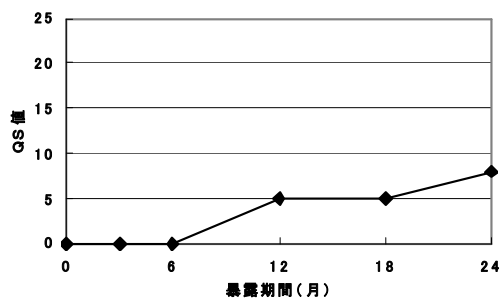
【7回/週】



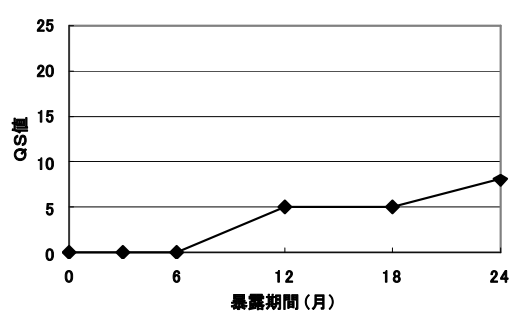
【2回/週】



【1回/週】



【1回/月】



【なし】

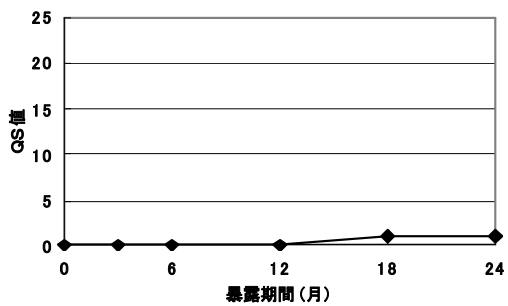


図 2-13-7 暴露期間とQS値の関係 (MS-1/±1.5%)

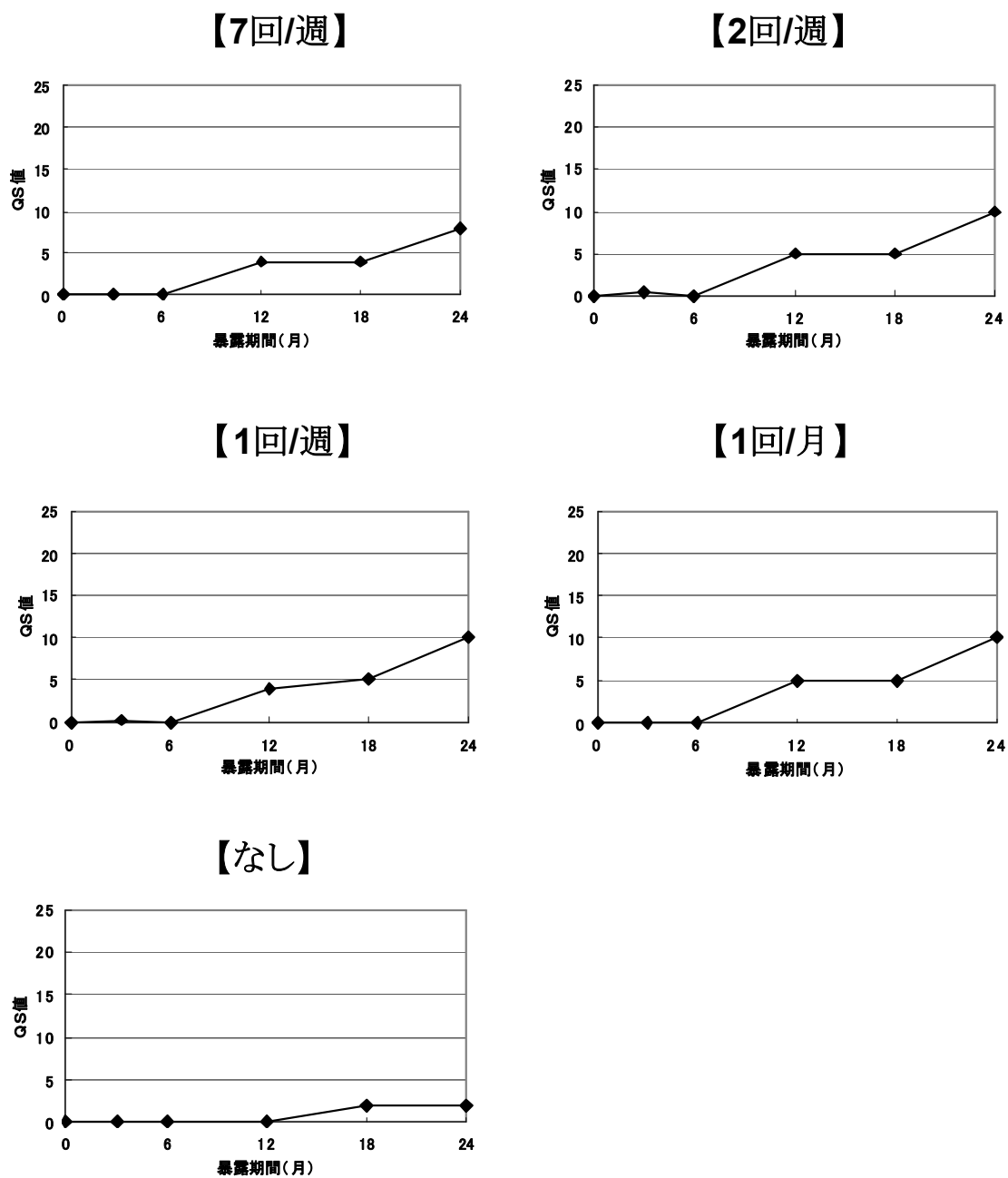


図 2-13-8 暴露期間とQS値の関係 (MS-1/±15%)

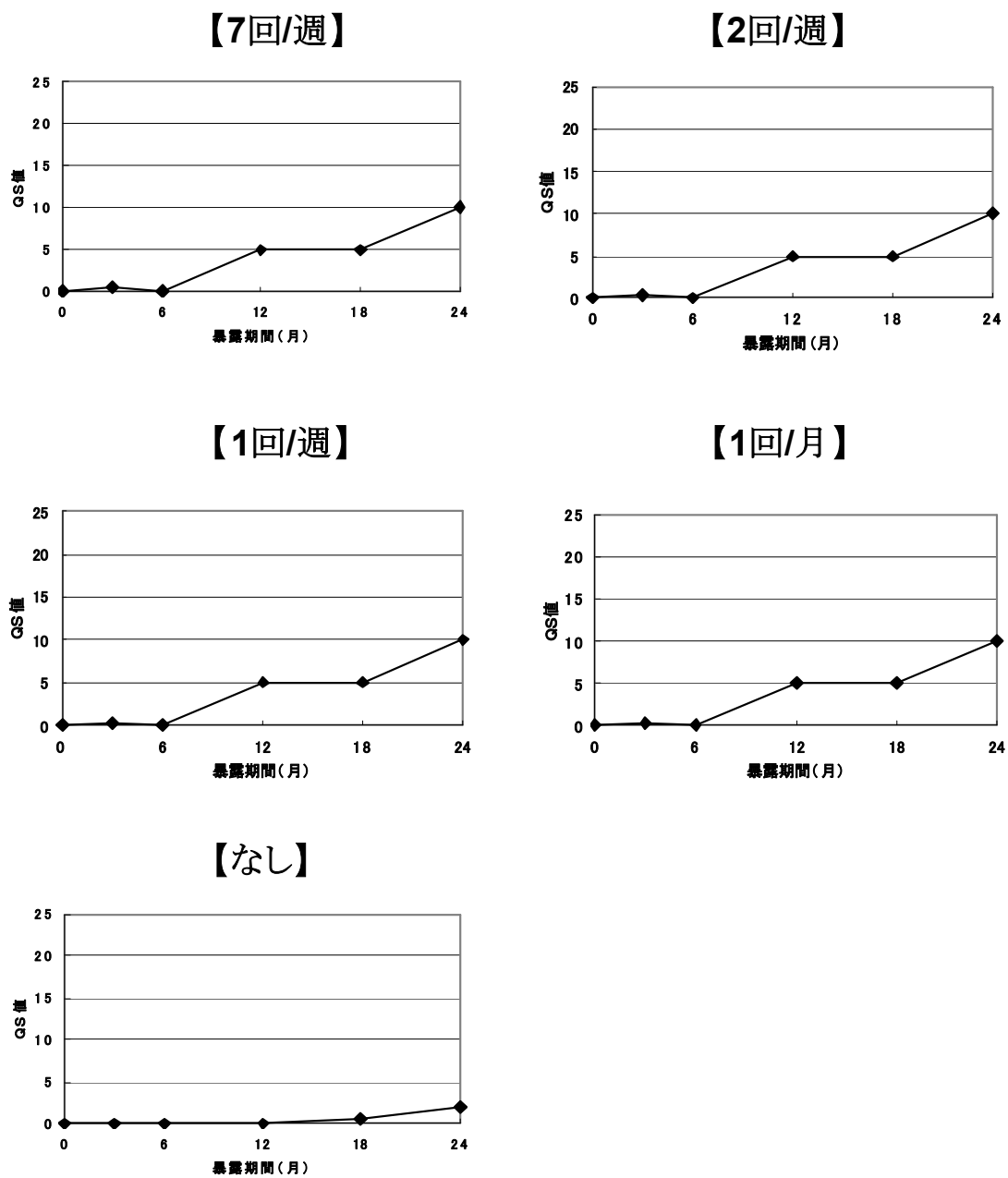


図 2-13-9 暴露期間とQS値の関係 (MS-1/±25%)

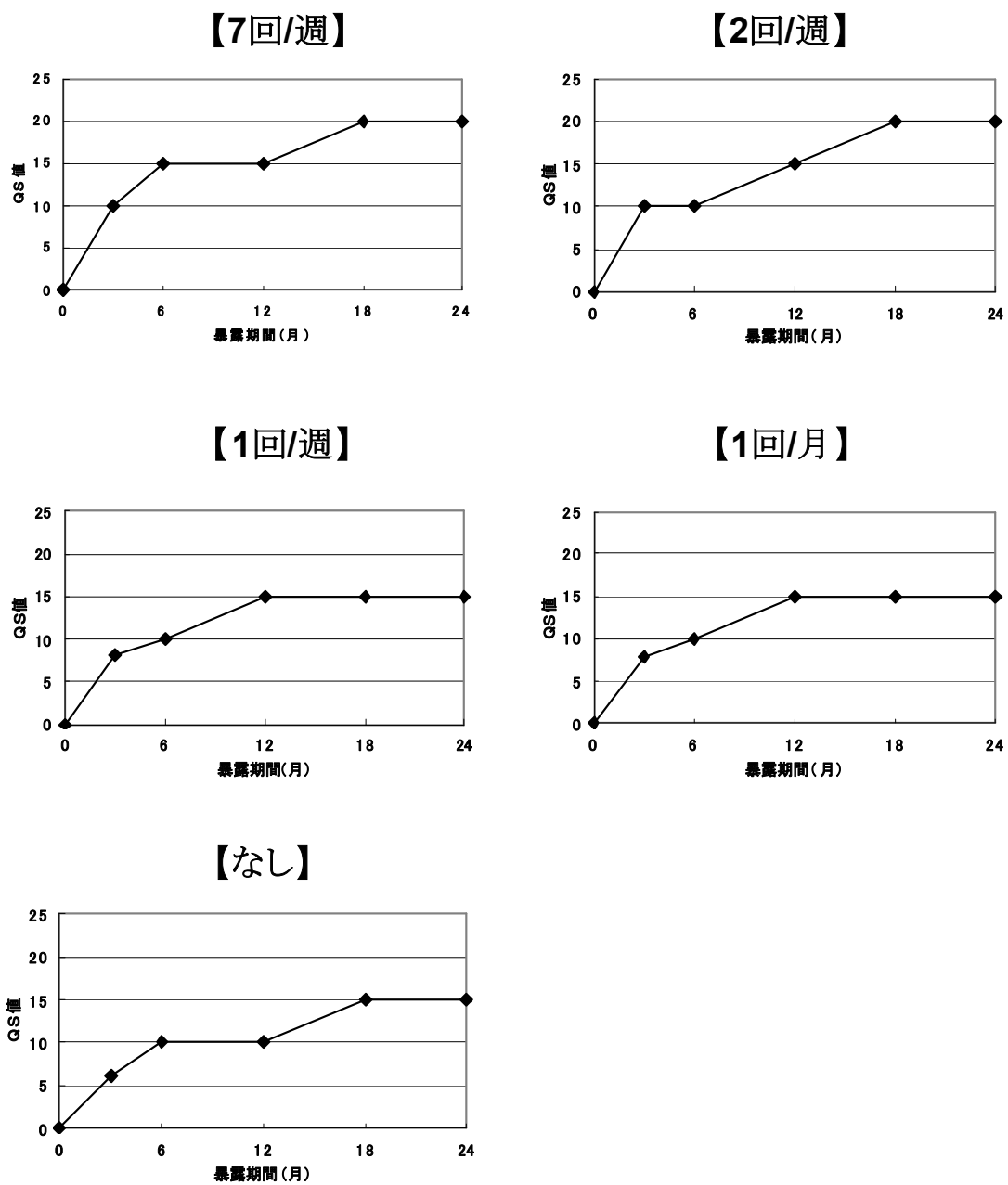


図 2-13-10 暴露期間とQS値の関係 (PU-2/±1.5%)

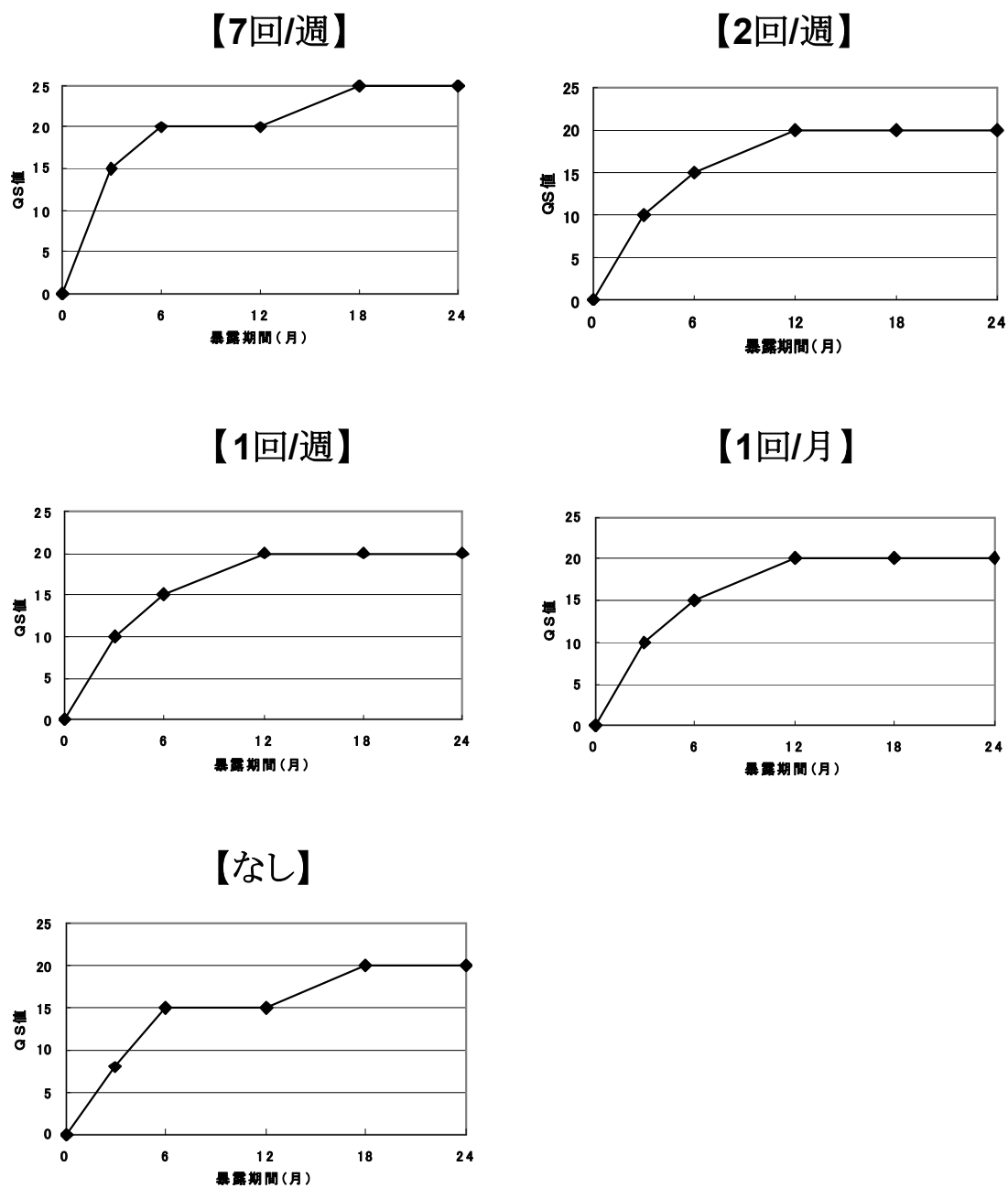


図 2-13-11 暴露期間とQS値の関係 (PU-2/±15%)

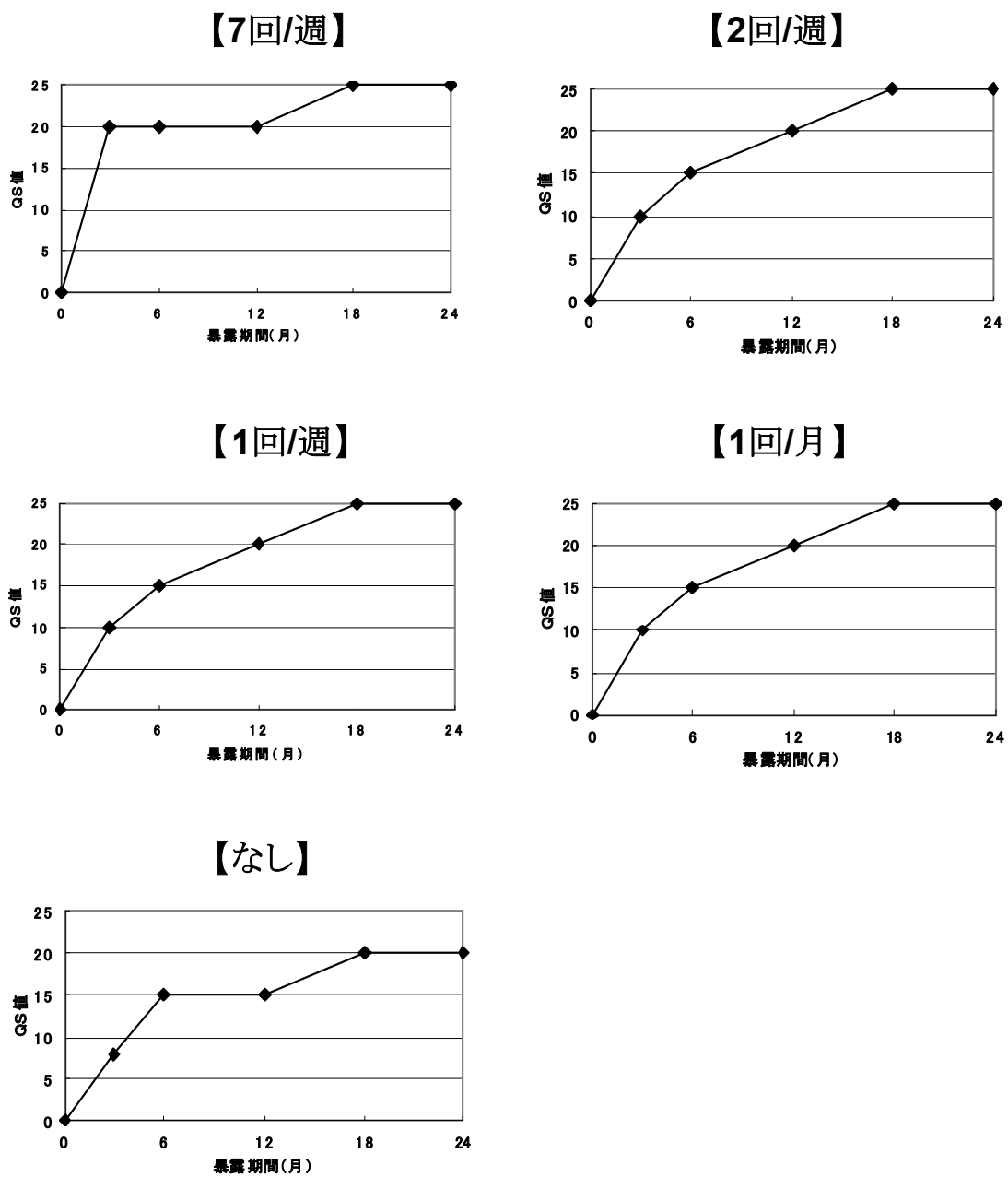
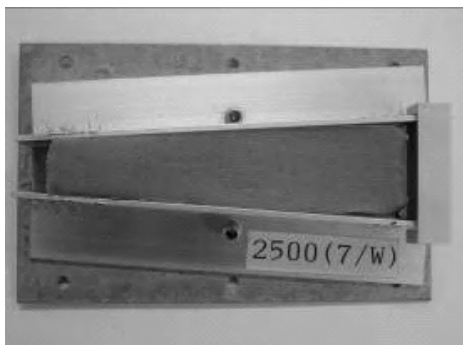


図 2-13-12 暴露期間とQS値の関係 (PU-2/±25%)

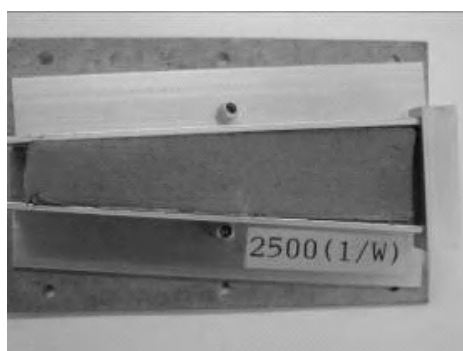
〔2成分形変成シリコーン系〕



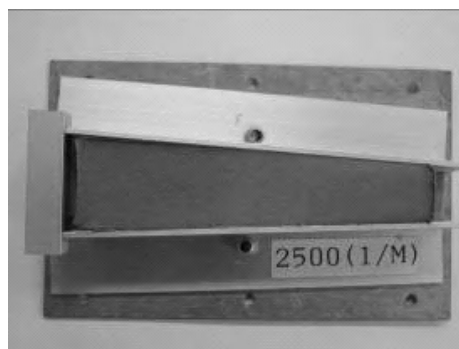
【7回/週】



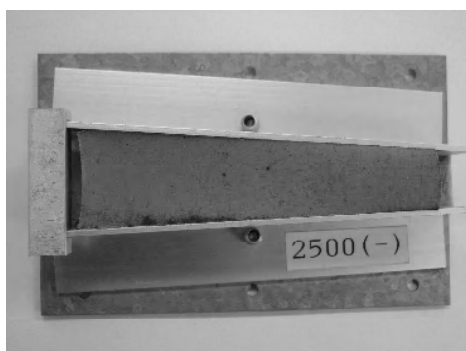
【2回/週】



【1回/週】



【1回/月】



【なし】

写真 2-6-1 表面ひび割れ状況（屋外暴露2年後：MS-2）

〔2成分形ポリサルファイド系〕



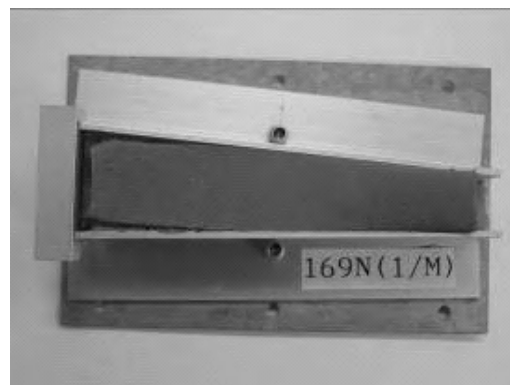
【7回/週】



【2回/週】



【1回/週】



【1回/月】



【なし】

写真 2-6-2 表面ひび割れ状況（屋外暴露2年後：P S-2）

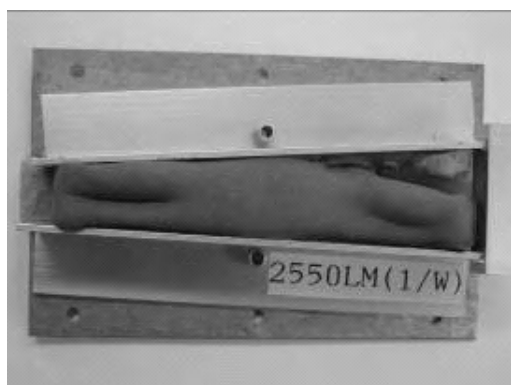
〔1成分形変成シリコーン系〕



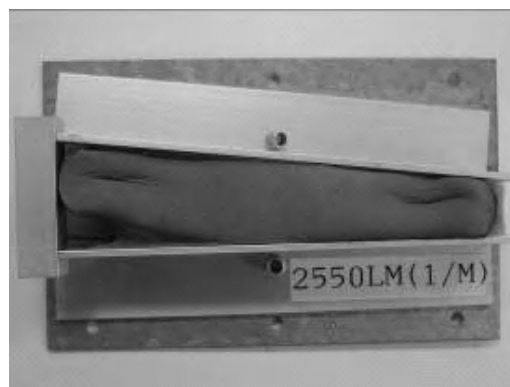
【7回/週】



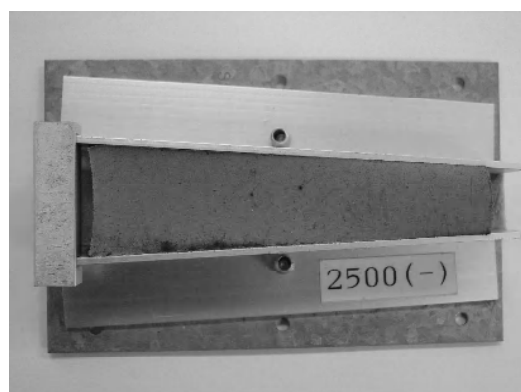
【2回/週】



【1回/週】



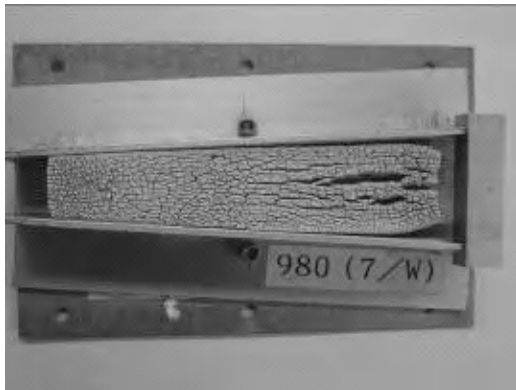
【1回/月】



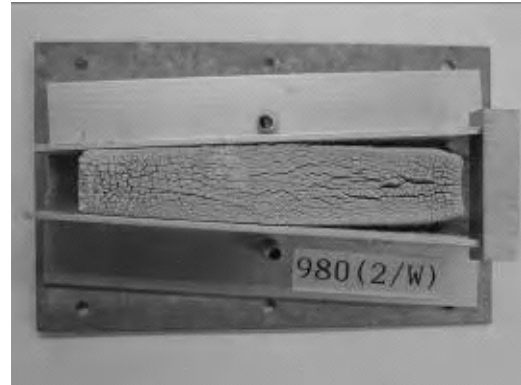
【なし】

写真 2-6-3 表面ひび割れ状況（屋外暴露2年後：MS-1）

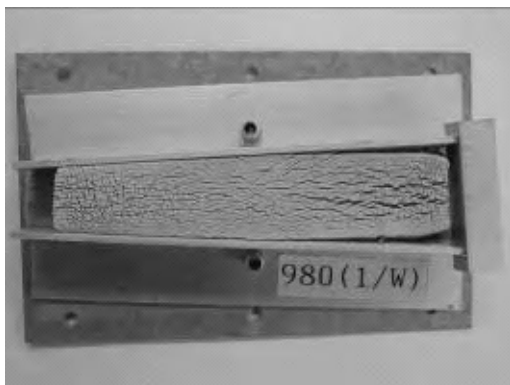
〔2成分形ポリウレタン系〕



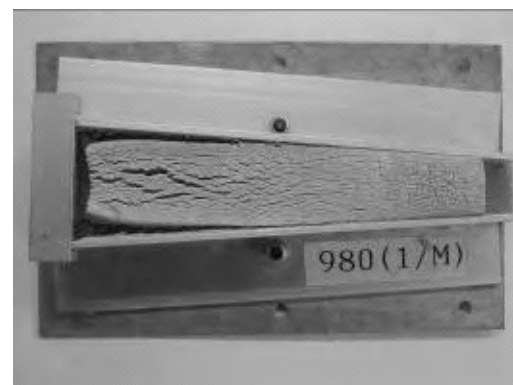
【7回/週】



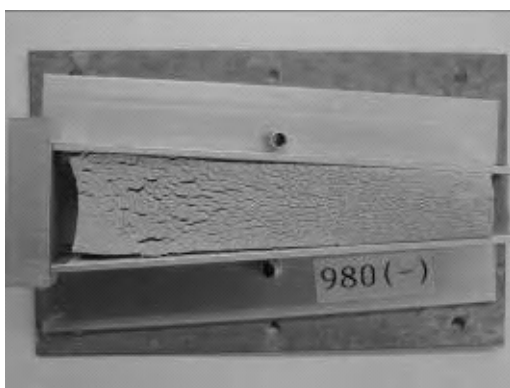
【2回/週】



【1回/週】



【1回/月】



【なし】

写真 2-6-4 表面ひび割れ状況（屋外暴露2年後：PU-2）

2.6 まとめ

建築用シーリング材の新たな耐候性試験方法の確立検討において、以下の知見を得ることができた。

- 1) 一つの試験体で、最大伸縮率±30%までの伸縮変形を連続的に付与できる小型の試験体を考案できた。

このことにより、動的変形を小型の試験体で再現することができ、従来のような大型試験機を気象条件が異なる地域毎に設置する必要が無く、経済的にも建築用シーリング材の耐候性評価に貢献できるものと判断される。

また、実際の屋外における動的暴露試験では目地に発生する伸縮量は気象条件により異なるが、新規提案の目地幅可変型試験体は所定の伸縮量を確実に付与でき、伸縮量と耐候性の関係を明確にできる利点を有する。

- 2) 表面劣化状態の判定尺度としてQ S値を設定することにより、表面のひび割れ状態を定量的に表すことができた。

このことにより、従来の定性的な判定ではシーリング材の種類や気象条件並びに促進暴露等による耐候劣化状態を定量的に評価・判定することが可能となった。

- 3) 目地幅可変型試験体の、変形方向及び隣接部位からの影響はないと判断された。

従って、この新規提案の目地幅可変型試験体は実際の目地に発生する伸縮挙動を耐候性試験において再現できるものと判断される。

- 4) 表面ひび割れ発生に対する伸縮変形付与頻度の影響度合は、7回/週 \div 2回/週 \div 1回/週 \div 1回/月 $>$ 変形後切替へなしの順となった。

従って、本来毎日発生する目地の伸縮に対し、1回/月以上の頻度で伸縮付与を行えば、毎日の伸縮付与と差のない結果が得られ、試験や評価における作業化の効率化に結びつくものと判断できる。

第3章

耐候劣化状態変化の定量化

3.1 はじめに

新たな耐候性試験方法として、伸縮変形を連続的に付与できる小型の試験体と建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面のひび割れ状態に対しQS値という新たな判定尺度を設定し定量的に表すことを可能にした。

ひび割れ状態を表すQS値を用い、建築用シーリング材の種類及び発生する伸縮率におけるQS値変化のモデル化を行うことにより、QS値が暴露期間と発生する伸縮率から求められる関数化を試みた。

3.2 表面劣化状態の変化

①試験条件

建築用シーリング材のQ S値変化を関数化することを目的として、表3-1に示す条件にて試験を行った。

建築用シーリング材は現在国内で使用されている8種類の主成分が異なる1成分形及び2成分形シーリング材を選定し、目地幅可変型試験体と伸縮変位が発生しない図2-2に示す目地幅固定型の2種類を用いた。

なお、国内では量的にも多く使用されている1成分形シリコン系シーリング材も試験を行ったが、シーリング材の物理的性質より試験の初期段階でシーリング材の凝集破壊が発生し、所定の伸縮状態が維持できなくなったため、以後の試験も含め評価から削除した。

目地幅可変型試験体の伸縮変形付与頻度は第2章の試験結果にもとづき2回/週とし、劣化状態の観察は変形を発生しない目地幅固定型試験体の±0%と、目地幅可変型試験体の±1.5%・±15%・±25%部の4箇所とした。また、暴露試験は地域的因子を排除するため山梨県南アルプス市のみで4年間実施した。

なお、使用したシーリング材のJ I S³¹⁾にもとづく物理的性質を表3-2に、暴露地域の気象条件を表3-3に、さらに試験状況を写真3-1に示す。

山梨県南アルプス市は地理的環境より、降雨量は他地域に比べ比較的少ないものの、最高気温/最低気温の年間の温度差は大きく、また日射量も国内では年間を通じて多い気象条件の地域である。

表3-1 屋外暴露試験条件

シーリング材*	記号	暴露場所	暴露期間	方位・ 角度	伸縮変形 付与条件	劣化状 態観察 部位
*2成分形シリコン系(SR-2)	SR-2					
*2成分形ポリイソブチレン系	IB-2					
*2成分形変性シリコン系(汎用タイプ)	MS-2(汎用)	山梨県 南アルプス市	2003.01.16	*南面 *30°	*なし *あり (2回/週)	±0%
*2成分形変性シリコン系(応力緩和タイプ)	MS-2(応緩)		~			±1.5%
*1成分形変性シリコン系	MS-1		2007.01.15			±15%
*2成分形ポリサルファイド系	PS-2		(48ヶ月)			±25%
*2成分形ポリウレタン系	PU-2					
*1成分形ポリウレタン系	PU-1					

注) シーリング材はS社製品を使用

表 3-2 試験シーリング材の力学的性質

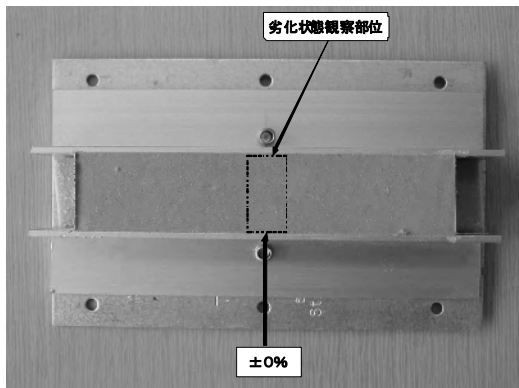
シーリング材	50%モジュラス(N・mm ²)	最大引張応力(N/mm ²)	伸び率(%)
SR-2	0.14	0.81	1170
IB-2	0.11	0.38	485
MS-2(汎用)	0.13	0.49	551
MS-2(応緩)	0.17	0.52	552
MS-1	0.12	0.51	800
PS-2	0.19	0.56	347
PU-2	0.11	1.15	790
PU-1	0.18	0.97	800

表 3-3 暴露地の気象条件

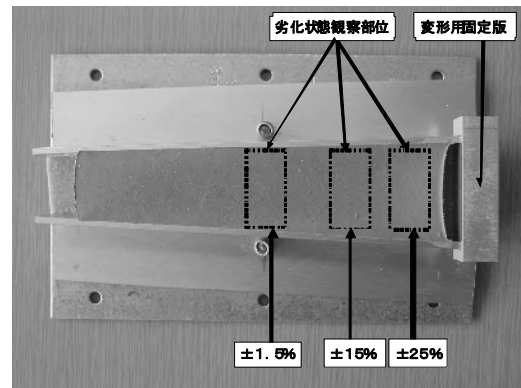
気温 (°C)	最高	40.4
	最低	-7.8
	平均	15.2
積算全天日射量 (0°・MJ/m ²)		21,004.7
積算降水量(mm)		4,277.5

注) * データー: 甲府地方気象台

* 期間: 2003.01.16~2007.01.15



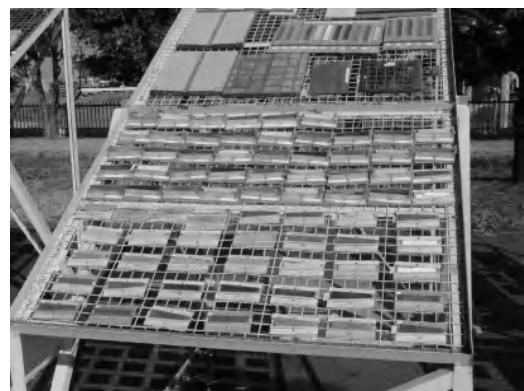
【伸縮変形なし】



【伸縮変形あり】



【暴露場全景】



【試験体設置状況】

写真 3-1 試験状況 (試験体及び屋外暴露試験場)

②試験結果

各シーリング材の伸縮率毎のQ S 値を表 3-4 に、暴露期間と Q S 値の関係を図 3-1 に、さらに屋外暴露 2 年後の目地幅可変型試験体における表面のひび割れ状態を写真 3-2-1 ~2 に示す。

表 3-4 各シーリング材の Q S 値変化

シーリング材	伸縮率 (%)	暴露期間(月)				
		0	12	24	36	48
SR-2	±0	0	0	0	0	0
	±1.5	0	0	0	0	0
	±15	0	0	0	0	0
	±25	0	0	0	0	0
IB-2	±0	0	0	0	0	0.1
	±1.5	0	0	10	15	15
	±15	0	2	10	15	15
	±25	0	4	10	15	15
MS-2 (汎用)	±0	0	0	0	0	0.2
	±1.5	0	0	3	10	10
	±15	0	5	5	10	15
	±25	0	5	5	15	15
MS-2 (応緩)	±0	0	0	5	5	10
	±1.5	0	5	5	10	15
	±15	0	5	10	15	15
	±25	0	5	15	15	15
MS-1	±0	0	0	0	0	1
	±1.5	0	0	0	3	3
	±15	0	0	0	10	15
	±25	0	0	0	15	15
PS-2	±0	0	0	0	0	0.5* ¹
	±1.5	0	0	0	10	10* ¹
	±15	0	5	5	15	15* ¹
	±25	0	5	5	15	15* ¹
PU-2	±0	0	15	20	20	25
	±1.5	0	15	20	20	25
	±15	0	20	25	25	25
	±25	0	20	25	25	25
PU-1	±0	0	0	5	15	15
	±1.5	0	5	5	15	15
	±15	0	5	5	20	20
	±25	0	5	10	25	25

注) *1: 暴露期間42ヶ月後の観測値

2 成分形シリコン系シーリング材は試験期間内での表面ひび割れ発生は認められなかったが、その他のシーリング材は暴露期間の進行に伴い、図 3-1 に示す Q S 値の変化が認められた。

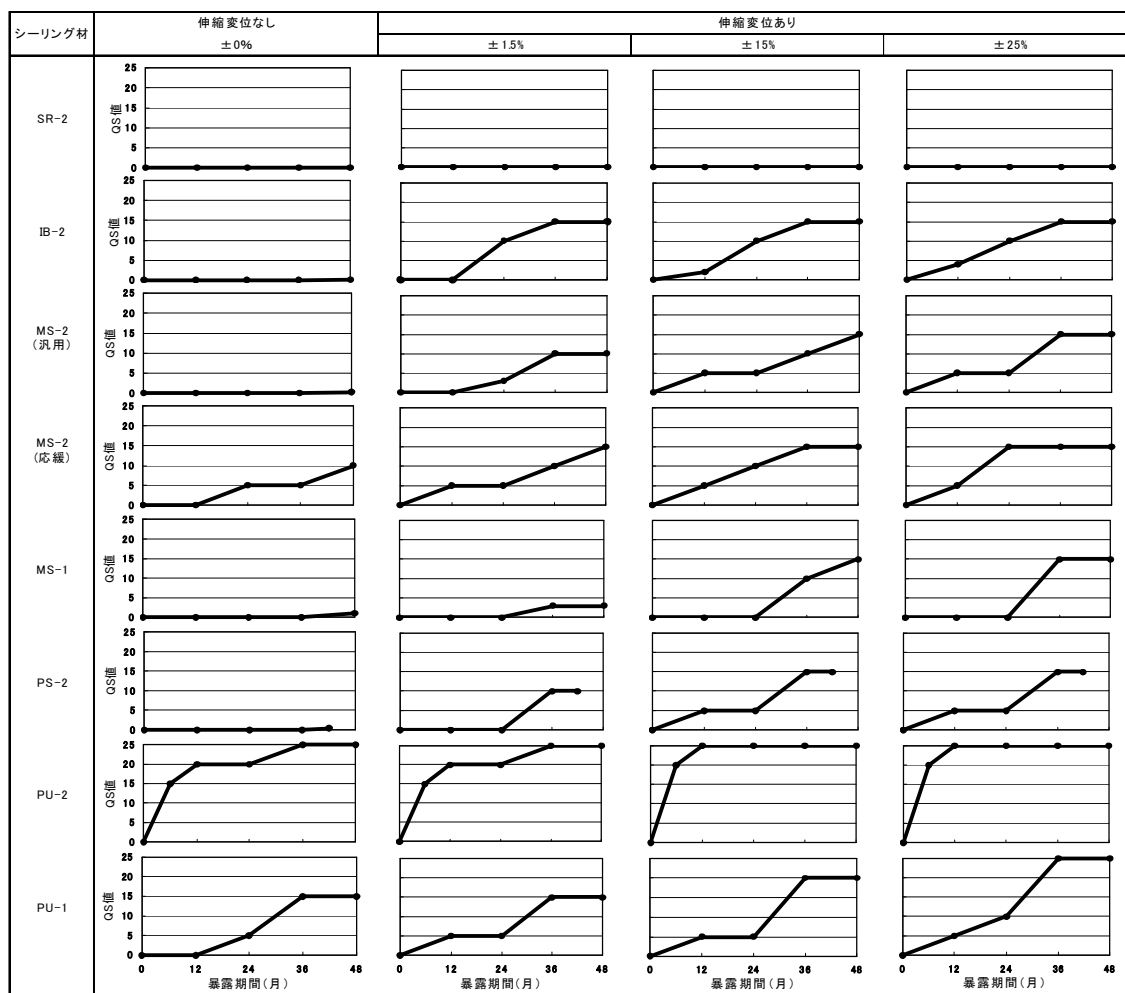
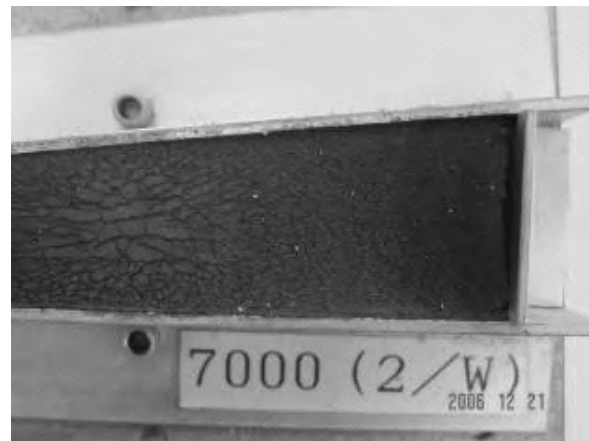


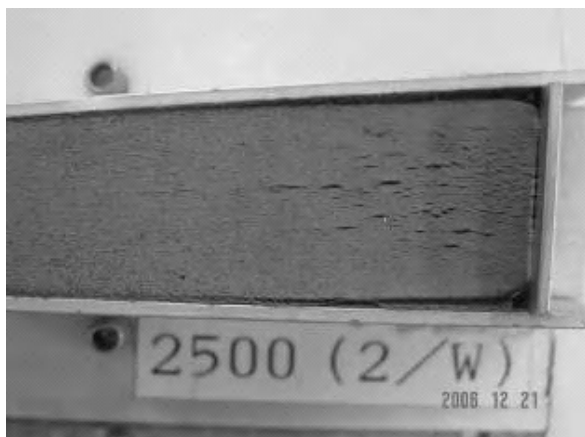
図 3-1 暴露期間と Q S 値変化の関係



【SR-2】



【IB-2】

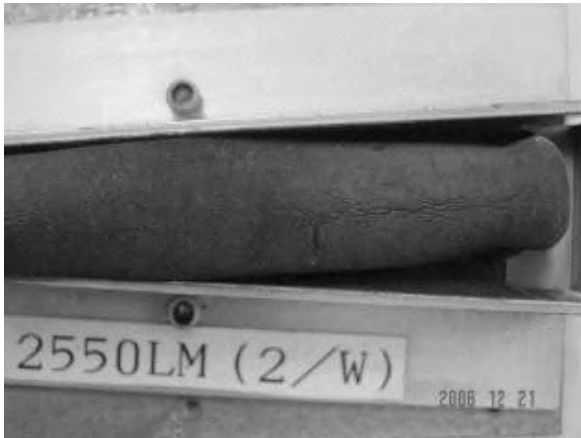


【MS-2(汎用)】



【MS-2(応緩)】

写真 3-2-1 表面のひび割れ状態



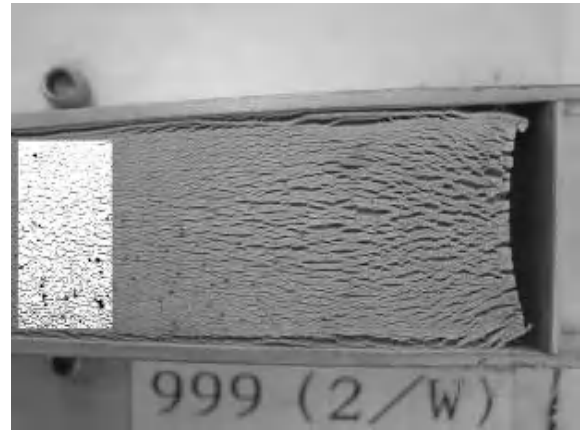
【MS-1】



【PS-2】



【PU-2】



【PU-1】

写真 3-2-2 表面のひび割れ状態

3.3 QS値変化のモデル化

①試験結果の傾向

暴露期間に対するQS値変化より、以下に示す傾向が認められた。

- I 静的状態では時間の経過に伴い、QS値が増加方向で変化する。
- II 伸縮変形量の増加に伴い、静的状態に対し表面劣化の進行が促進される。

②モデル化のプロセス

QS値変化のモデル化に際し、まずY軸にQS値、X軸に暴露期間、さらにZ軸に目地に加わる伸縮率の三次元グラフを作成し、以下に示す手順でモデル化を行った。図3-2にモデル化プロセスを示す。

QS値変化のモデル化は、クラックの量(Q)及び大きさ(S)が順位尺度で判定差を生じQS値観測値自体が曲線的に変化しないため、全体的な傾向を観測値より見極め曲面化を実施した。

- 1) 暴露期間及び伸縮率毎にQS値をプロットする。
- 2) 試験結果の傾向にもとづき、QS値変化のスムージング化し曲線を描く。
- 3) スムージングした曲線を該当するシーリング材のQS値変化の曲面とする。

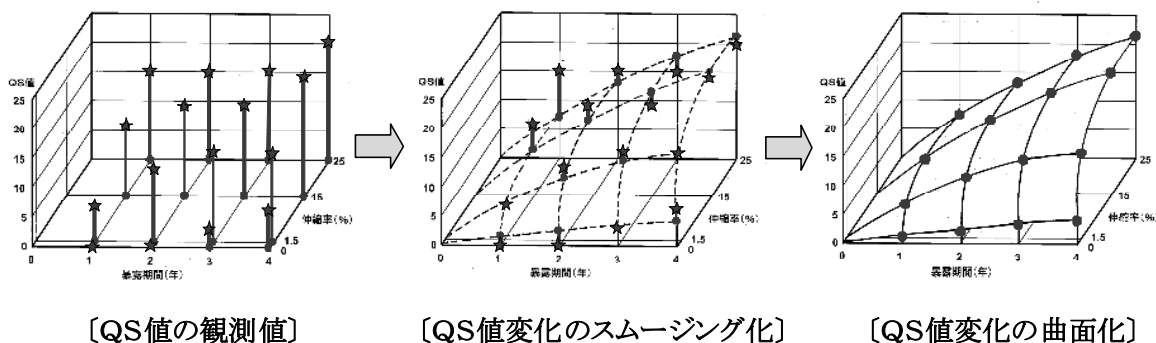


図3-2 QS値変化のモデル化プロセス

3.4 QS値実験式の提案

3.4.1 基本的考え方

QS値は暴露期間と伸縮率を変数とし、伸縮率±0%の静的状態での変化と、伸縮率が増加することにより劣化も促進される式(2)で表されると考えた。

QS値変化は静的状態での変化と、伸縮に伴う劣化の促進という二つの要素から成り立つと考え、その基本的な考え方の概念を図3-3に示す。

$$QS(\epsilon \cdot t) = A \times B \dots\dots\dots (2)$$

QS(ε・t) : 伸縮率ε%、tヶ月後のQS値

A : 静的状態でのQS値変化

B : 伸縮に伴う劣化の促進倍率

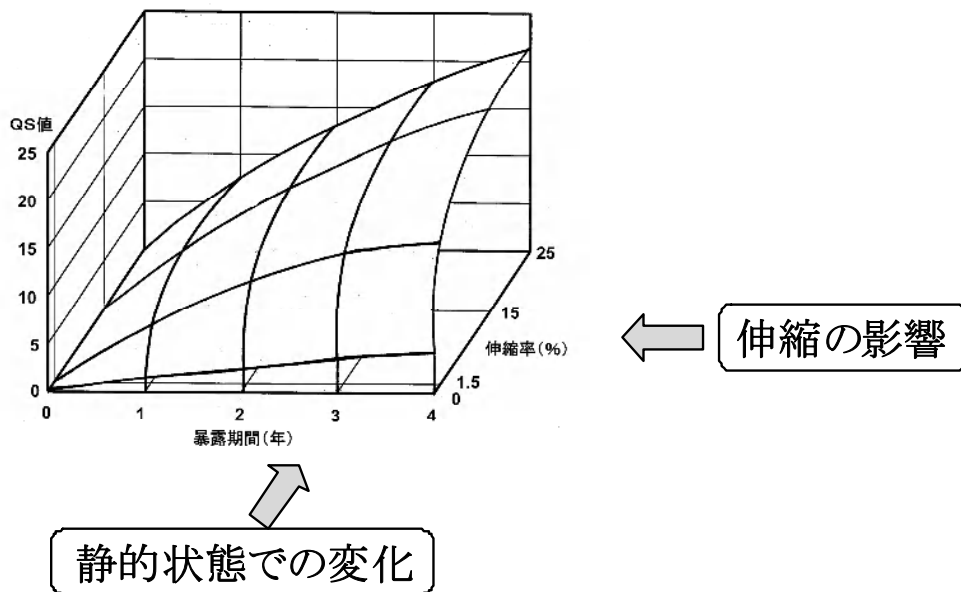


図 3-3 QS 値変化の基本的概念

3.4.2 静的状態でのQS値変化の定量化

静的状態（伸縮率±0%）では時間の経過に伴い表面ひび割れ状態が増大し、静的状態でのQS値変化は式（3）で表される時間を変数としたべき乗関数で表されると考えた。図3-4にQS値変化のモデルを示す。

なお、ISO²⁹⁾による最少クラック状態の判定は拡大率10倍での視認となるが、実際には更に微小なクラックも存在するため、表2-1の判定基準における斜字の追加判定基準を微細なクラックには適用した。

$$A = QS_0(t) \\ = a \times t^b \quad \dots \dots \dots (3)$$

QS₀(t) : 伸縮率0%におけるtヶ月後のQS値
 t : 暴露期間(月)
 a、b : 定数

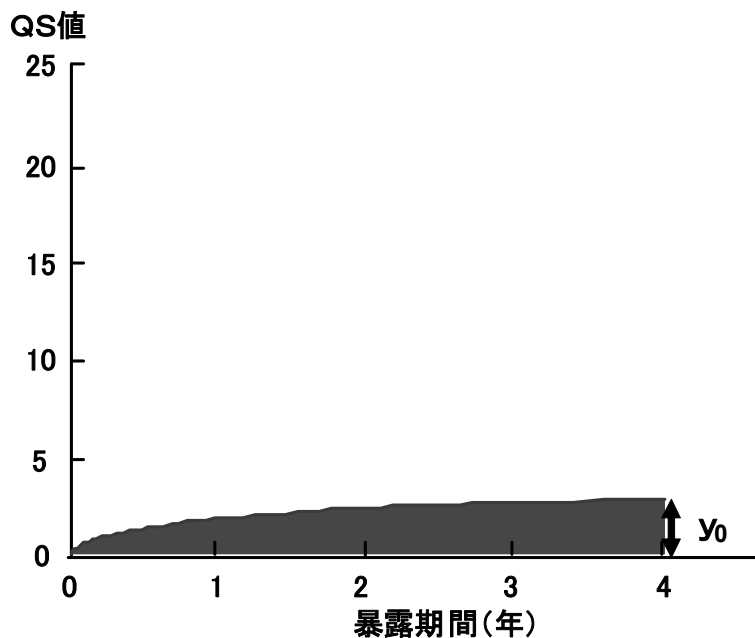


図3-4 静的状態におけるQS値変化のモデル

3.4.3 伸縮に伴う劣化促進倍率の定量化

図3-5に示すQS値変化のモデル図より、静的状態（伸縮率±0%）におけるQS値（ y_0 ）に対し、伸縮率が増加するに従いQS値も y_1 として増加する。この“ $y_1 - y_0$ ”が伸縮に伴い静的状態に対し増加したQS値量となり、“ y_0 ”に対する“ $y_1 - y_0$ ”の比が式(2)で表される伸縮に伴う劣化の促進倍率（B）となる。

伸縮率の影響を考えた場合、劣化促進倍率は静的状態（±0%）に比べ伸縮率が増加するに従い式(4)で表される関係で示され、劣化促進倍率の変化もべき乗関数で表されると考えた。

$$\begin{aligned}
 B &= y_1 / y_0 \\
 &= (y_0 + y_0 \times c \cdot \varepsilon^d) / y_0 \\
 &= (1 + c \cdot \varepsilon^d) \dots \dots \dots (4)
 \end{aligned}$$

y_0 : tヶ月後、静的状態でのQS値

y_1 : tヶ月後、伸縮率 ε %でのQS値

ε : 伸縮率 (%)

c、d : 定数

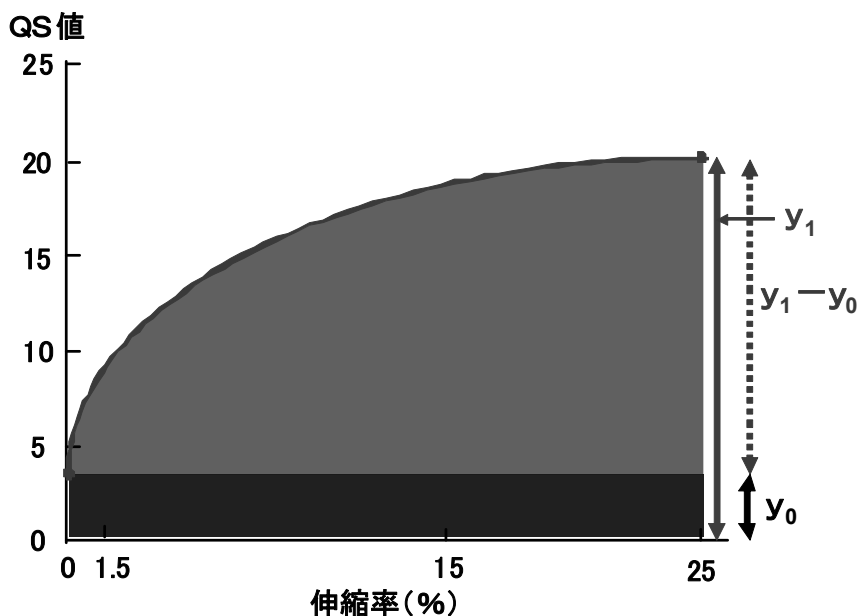


図3-5 伸縮率によるQS値変化のモデル

3.4.4 QS値実験式の設定

以上のプロセスより、暴露期間と伸縮率を変数としたQS値変化を実験式(5)として設定した。

$$QS(\varepsilon \cdot t) = (a \cdot t^b) \times (1 + c \cdot \varepsilon^d) \dots \dots (5)$$

QS(ε・t) : 伸縮率ε%、tヶ月後のQS値

t : 暴露期間(月)

ε : 伸縮率(%)

a、b、c、d : 各シーリング材毎の定数

3.4.5 各シーリング材のQS値実験式

以上のプロセスより各シーリング材の屋外暴露4年間におけるQS値変化のモデル化を行い、式(5)における定数値(a、b、c、d)を以下の公式より求めた。

① 求める関数式

$$\text{べき乗関数: } Y = a \cdot X^b$$

② 変数としての設定

[静的状態]

暴露期間 : X、QS値 : Y

[動的状态]

伸縮率 : X、促進倍率 : Y

③ 基本統計量

平均 : \bar{X} 、 \bar{Y}

偏差平方和 : S_{xx}

積和 : S_{xy}

④ 係数

$$B = \bar{Y} - A \cdot \bar{X}$$

$$A = S_{xy} / S_{xx}$$

$$a、c = e^B$$

$$b、d = A$$

各シーリング材のQS値変化のモデル化及び式(2)～(5)から求めたQS値実験式を表3-5に示す。

2成分形シリコン系シーリング材は試験期間内において表面にひび割れを発生しなかったため、定数値のa及びcは0となるが、その他のシーリング材はそれぞれの定数値を示した。

表3-5 各シーリング材のQS値実験式

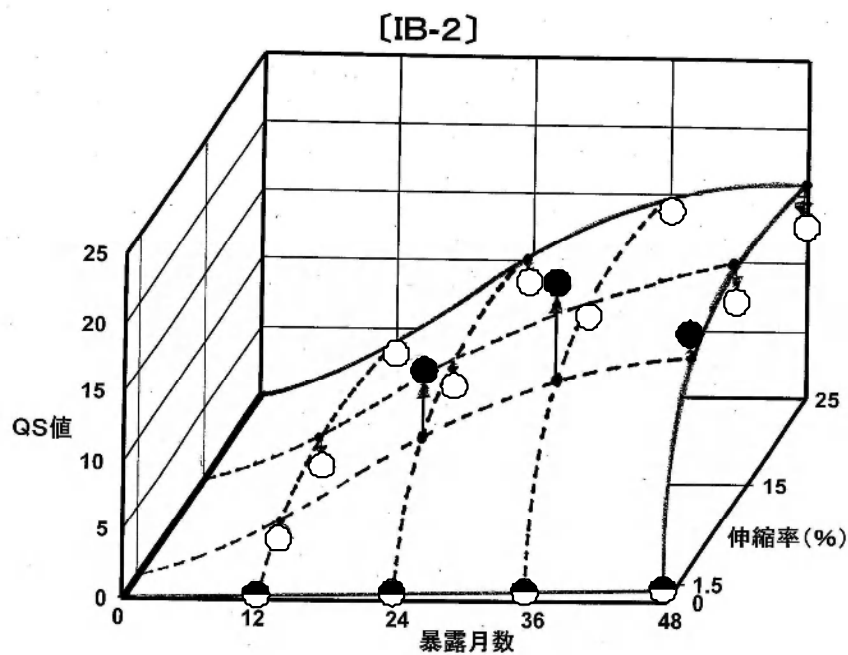
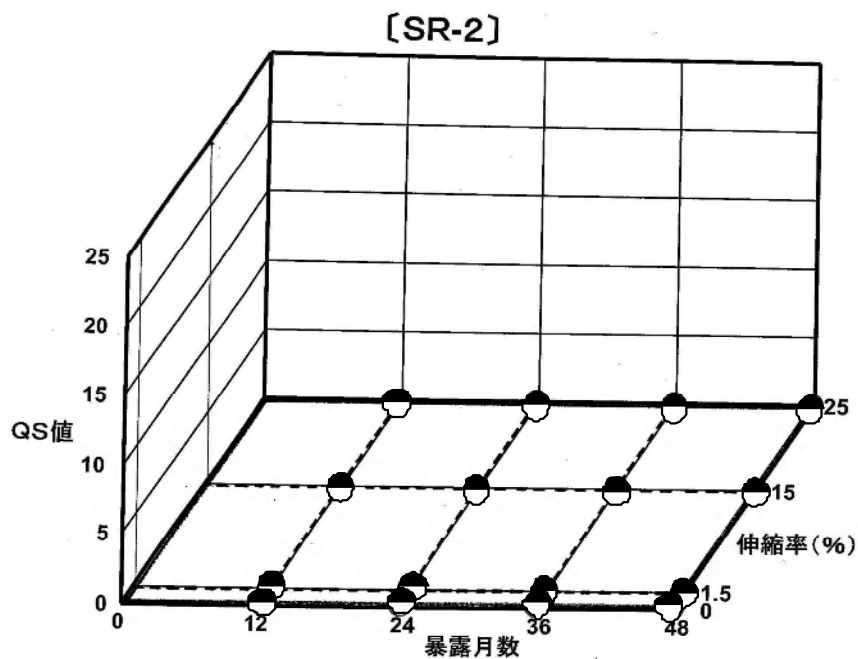
シーリング材	QS ($\varepsilon \cdot t$) 式
SR-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0 \times t^{1.0}) \times (1 + 0 \times \varepsilon^{1.0})$
IB-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.002 \times t^{1.0}) \times (1 + 104 \times \varepsilon^{0.2})$
MS-2 (汎用)	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.005 \times t^{1.0}) \times (1 + 40 \times \varepsilon^{0.2})$
MS-2 (応緩)	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.005 \times t^{1.9}) \times (1 + 1.6 \times \varepsilon^{0.3})$
MS-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.02 \times t^{1.0}) \times (1 + 4 \times \varepsilon^{0.4})$
PS-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.01 \times t^{1.0}) \times (1 + 18 \times \varepsilon^{0.2})$
PU-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (3.8 \times t^{0.6}) \times (1 + 0.4 \times \varepsilon^{0.4})$
PU-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.7 \times t^{0.8}) \times (1 + 0.003 \times \varepsilon^{0.9})$

3.5 QS値実験式の計算値と観測値の関係

平曲面が表 3-5 に示す各シーリング材のQS値実験式より求めたQS値を示し、丸印が観測したQS値を示す。黒丸印(●)は計算値より観測値の方が高かった場合、白丸印(○)は観測値より計算値の方が高い場合を、また白/黒印(◐)は観測値と計算値が同一の場合を示す。

各シーリング材のQS値実験式より求めたQS値曲面と、実際に観測したQS値の関係を図 3-6-1~4 に示す。

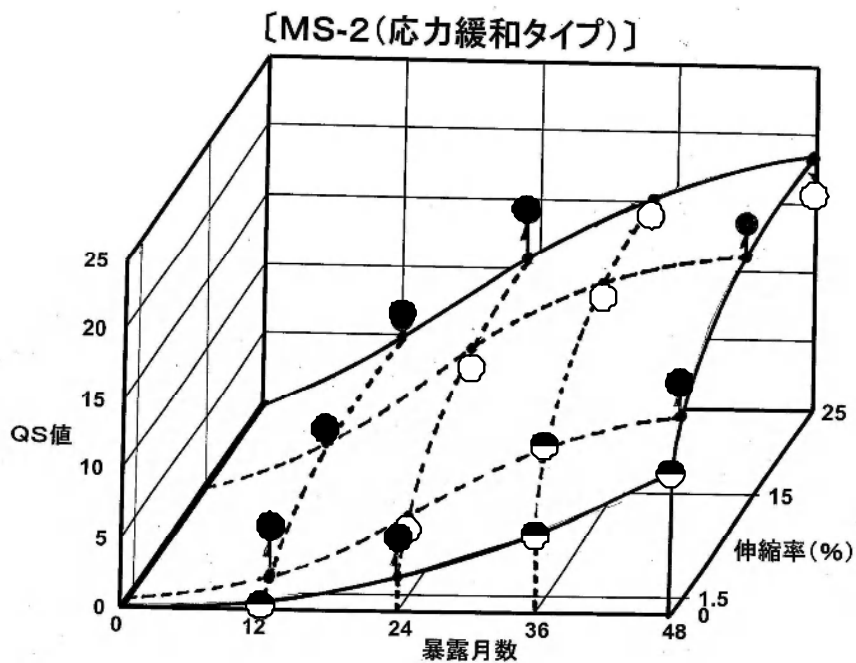
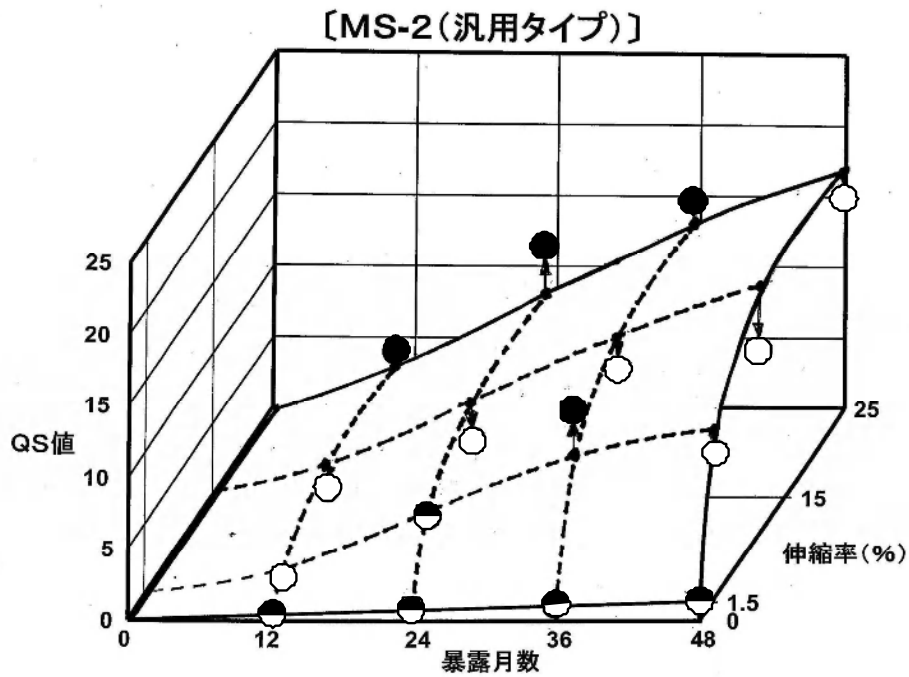
全体的に暴露期間内のQS値実験式にもとづく計算値と観測値を良く表す結果となった。



1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。

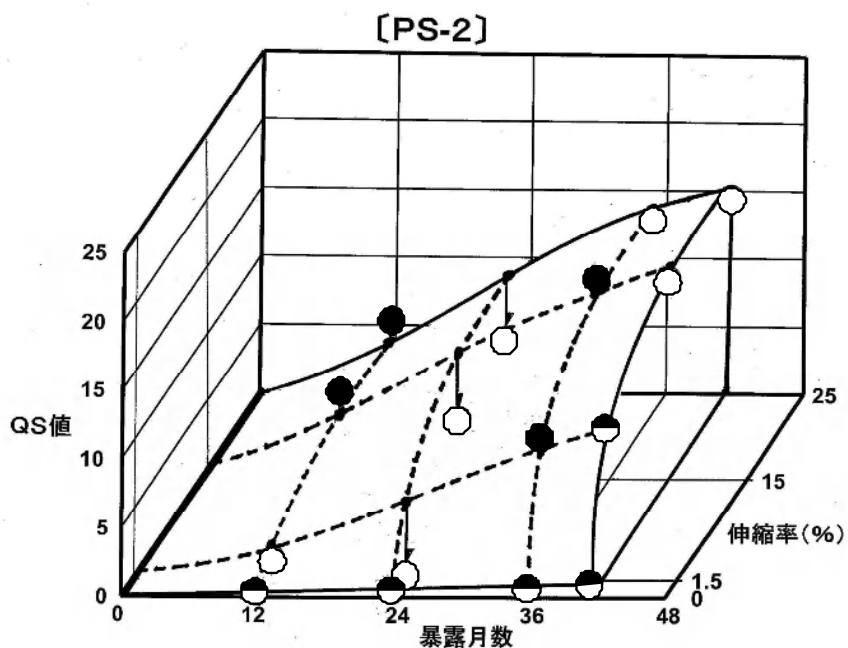
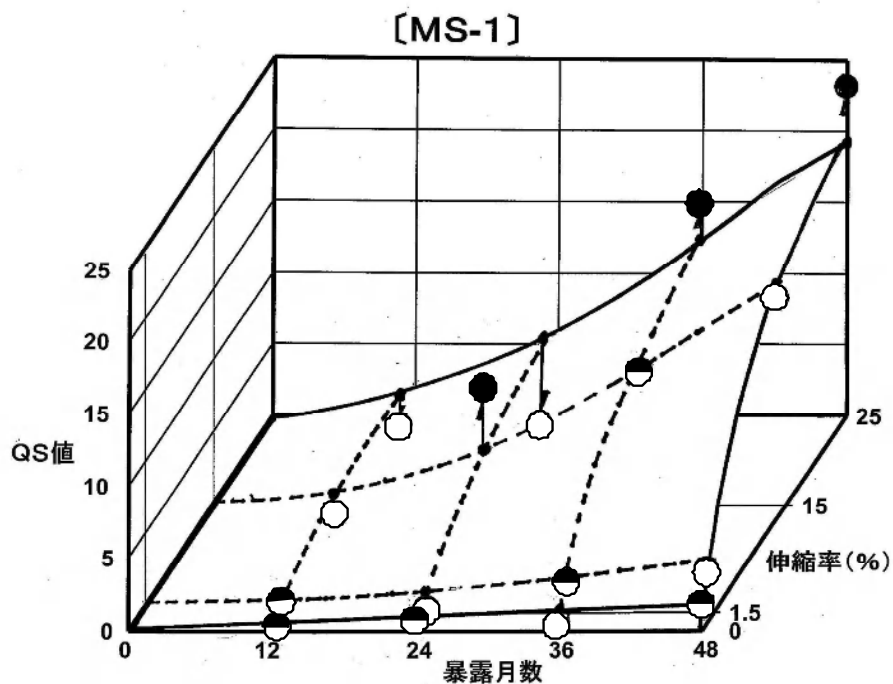
2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図3-6-1 QS値の計算値と観測値の関係 [SR-2、IB-2]



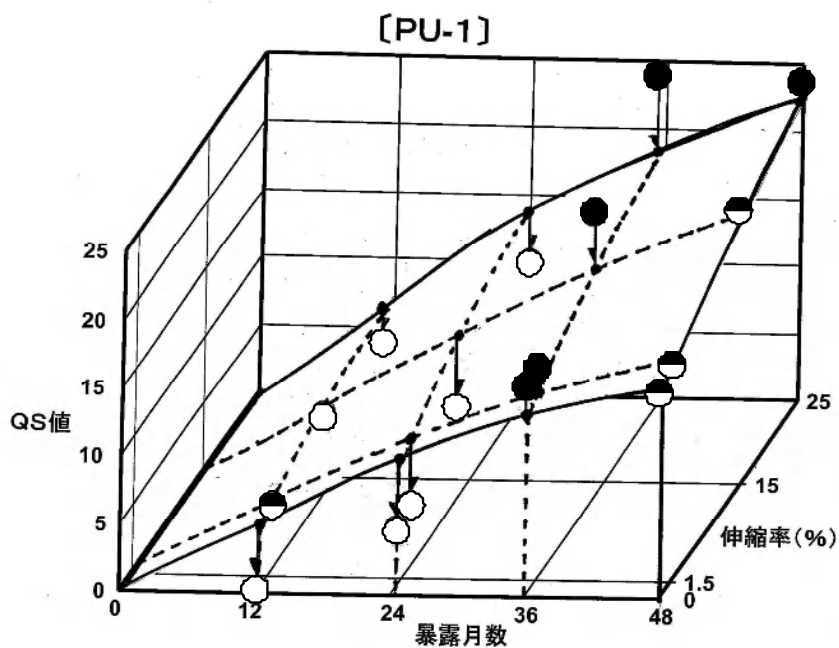
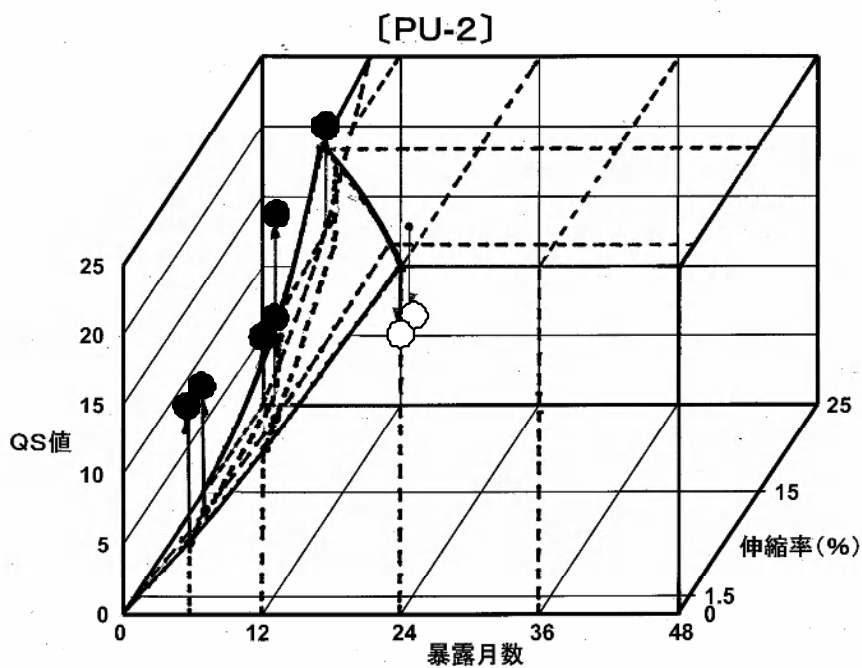
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、●: 観測値 = 計算値

図 3-6-2 QS 値の計算値と観測値の関係 [MS-2 (汎用)、MS-2 (応緩)]



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、●: 観測値 = 計算値

図 3-6-3 QS 値の計算値と観測値の関係 [MS-1、PS-2]



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 3-6-4 QS 値の計算値と観測値の関係 [PU-2、PU-1]

3.6 まとめ

地域因子を山梨県南アルプス市に限定した各種シーリング材のQS値を表面ひび割れ状態の尺度とした場合、QS値のモデル化及び関数化を行うことにより以下の知見を得た。

- 1) 暴露期間と伸縮率を変数としたQS値を表す関数式を提案し、屋外暴露における観測値と比較し、両者はかなりの程度整合することを示した。
- 2) このことにより、屋外暴露における動的変形の影響を定量的に示すことを可能とした。

第4章

屋外暴露に対する促進暴露の関係

4.1 はじめに

建築用シーリング材を含む高分子系建築材料の耐候性評価は屋外暴露試験による評価の他に、性能確認及び製品開発等の期間短縮化の目的で促進暴露試験による評価が行われるのが一般的である。

促進暴露試験方法はJIS規格^{30) 32)}やISO規格³³⁾で詳細が規定され、現在は国際規格整合化の方針にもとづきJIS規格もISO規格を全面導入している。

この章では表面ひび割れ状態に対しQS値を尺度とした場合、屋外暴露試験と促進暴露試験の関係を把握することを目的とした。

なお、促進暴露試験における光源として、従来日本はオープンフレーム・カーボンアークランプ（通称：サンシャインウエザオメーター）が歴史的にも長く適用され、各種耐候性試験データの蓄積も最も多いが、欧州ではキセノンランプの使用が、また米国では経済的な面も含めUV蛍光ランプの使用が多いのが実情である。

4.2 屋外及び促進暴露試験の概要

① 試験シーリング材

試験シーリング材は国内で使用されている、主要な6種類の主成分が異なる1成分形及び2成分形シーリング材を選定した。シーリング材の種類と力学的性質を表4-1に示す。

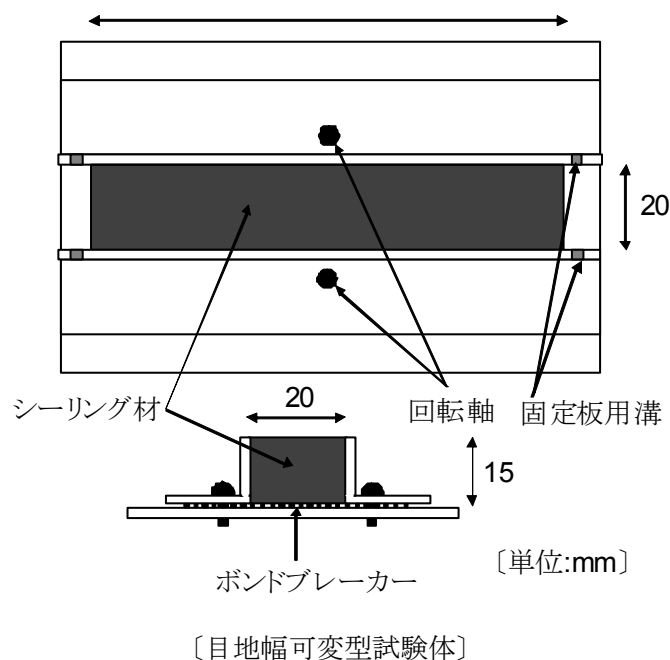
表4-1 試験シーリング材と力学的性質

種	類	記号	力学的性質 ^{*1}		
			50%モジュラス ^{*2} (N/mm ²)	最大引張応力 (N/mm ²)	伸び率 (%)
2成分形シリコーン系		SR-2	0.14	0.81	1170
2成分形ポリイソブチレン系		IB-2	0.11	0.38	490
2成分形変成シリコーン系		MS-2	0.15	0.49	650
1成分形変成シリコーン系		MS-1	0.12	0.56	560
2成分形ポリウレタン系		PU-2	0.15	0.53	570
1成分形ポリウレタン系		PU-1	0.14	1.03	950

*1: J I S A 1439 (建築用シーリング材の試験方法) に準拠 *2: 50%伸長時の応力
注) 各シーリング材の色調はグレー色とした。

② 試験体

当章における試験は、静的状態としての目地幅固定型試験体は使用せず、第2章2.2 図2-1に示す目地幅可変型試験体のみを使用した。



③ 暴露条件

暴露試験は千葉県（銚子）における屋外暴露試験を基準に、促進暴露試験は J I S A 1415³⁰⁾ で規定されているキセノンアーク（略号；XWOM）/オープンフレーム・カーボンアーク・ライプ（略号：SWOM）及びUV蛍光ランプ（略号：UV）の3種類の光源を使用した。

伸縮状態付与頻度については、屋外暴露試験は伸縮変形付与頻度と表面ひび割れ状態（QS値）の関係（2.5.4参照）より1回/月としたが、促進暴露については屋外暴露を基準とした場合の相当する促進暴露時間を求めるため、促進暴露における伸縮変形付与頻度は作業効率を考慮し1回/500時間とした。

暴露試験条件の概要を表4-2に、各促進暴露試験機光源の分光分布を図4-1-1～3に、試験状況の概要を写真4-1に示す。

表4-2 暴露試験条件の概要

項目	屋外暴露	促進暴露 ^{*1}		
		キセノンアーク (XWOM)	オープンフレーム カーボンアークランプ (SWOM)	UV蛍光ランプ ^{*2} (UV)
暴露期間	4年間 ^{*3}	5000時間		
伸縮変位切替間隔	1ヶ月	500時間		
劣化状態観察部位	±1.5%、±15%、±25%			
条件	・暴露個所：	[照射条件]	[照射条件]	[照射条件]
	銚子（千葉）	・ 550W/m ²	・ 255W/m ²	・ 29W/m ²
	・南面・45°	(290-800nm)	(300-700nm)	(270-400nm)
		・温度：63°C	・温度：63°C	・温度：63°C (ON)
		・湿度：50%RH	・湿度：50%RH	/50°C (OFF)
	・18分水噴霧	・18分水噴霧	・4時間 (ON)	
	/120分照射	/120分照射	/4時間 (OFF)	

*1：J I S A 1415（高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法）準拠

*2：340nmピーク使用

*3：2002.10.01～2006.09.30

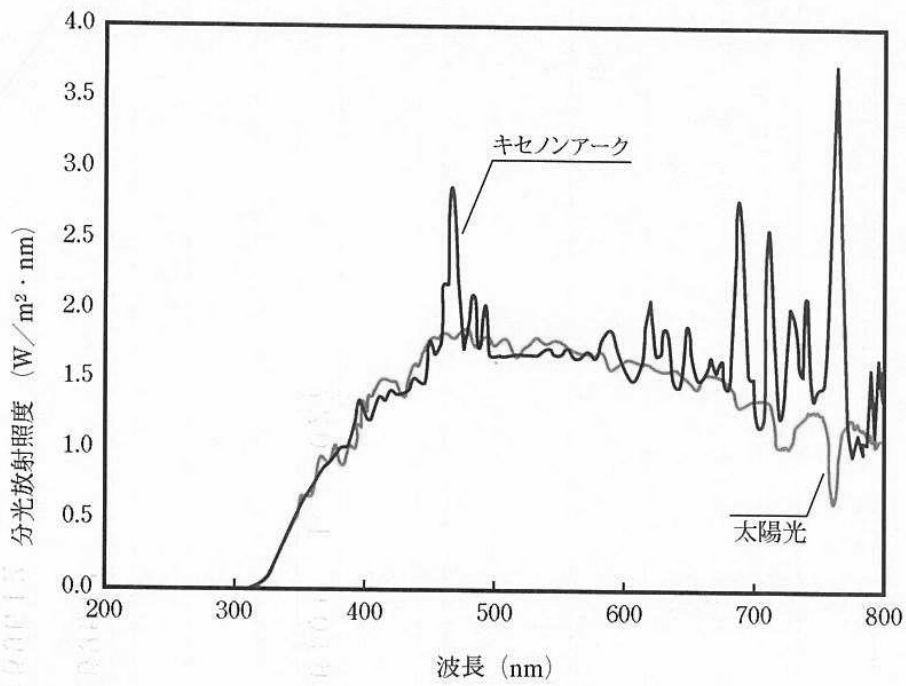


図 4-1-1 キセノンアークランプの分光分布

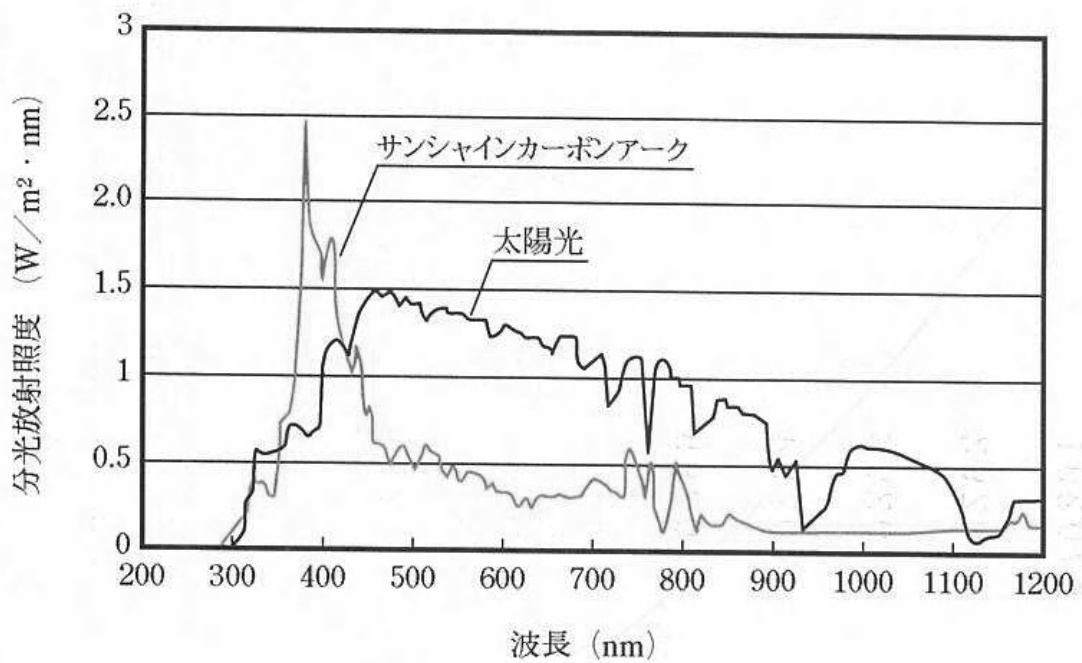


図 4-1-2 オープンフレーム・カーボンアークランプの分光分布

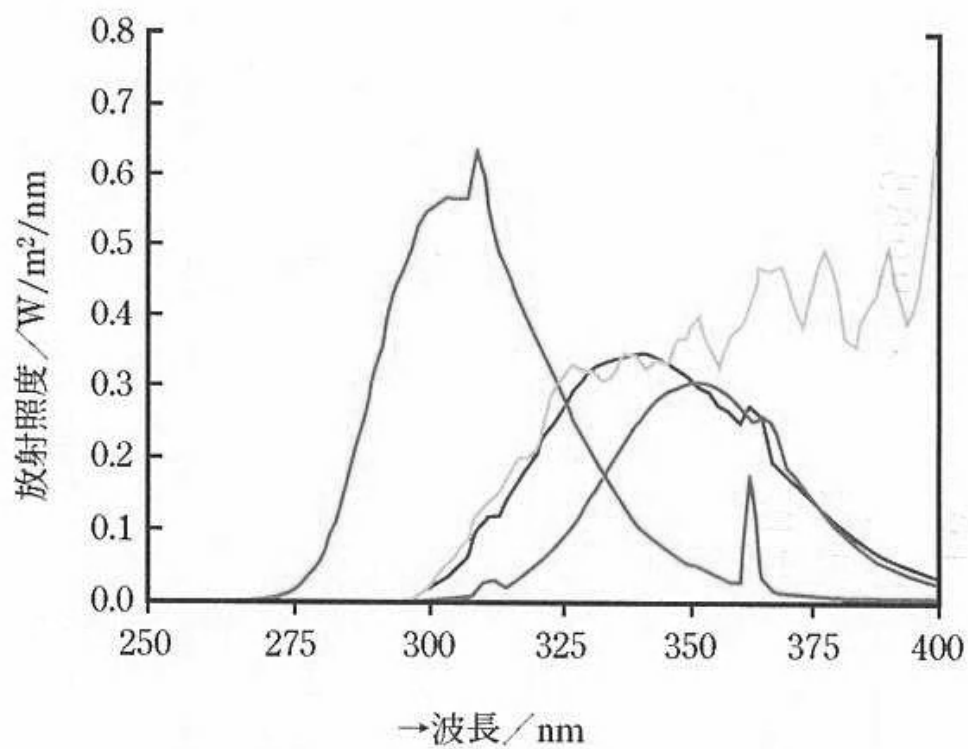


図 4-1-3 UV蛍光ランプの分光分布 (今回は 340 nm ピークを使用)

④ クラック判定基準及び評価尺度

クラックの判定は第二章 2.3 表 2-1 に示す I S O 判定基準を用い、表面のひび割れ状態の判定は式 (1) にもとづく Q S 値を求めた。

[I S O でのクラック判定基準]

評価	クラックの量 (Q)	評価	クラックの大きさ (S)
0	なし	0	拡大率 100 倍で見えず
0.5	痕跡	0.3	拡大率 50 倍で見える
1	極僅か	0.5	拡大率 30 倍で見える
2	僅か	1	拡大率 10 倍で見える
3	若干	2	正常な目視で見える
4	かなり	3	正常な目視ではっきり見える
5	密	4	幅 1mm 未満のクラック
		5	幅 1mm 以上のクラック

$$Q S (t) = Q (t) \times S (t) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$



【屋外暴露(鉋子)】



【促進暴露(SWOM)】



【促進暴露試験装置(XWOM)】



【ホルダーへの試験体取付け状態】

写真 4-1 屋外及び促進暴露試験状況の概要

⑤ 試験結果

2成分形シリコン系シーリング材以外は、暴露期間の進行に伴いQ S値の変化が認められた。各シーリング材の暴露期間に対するQ S値の変化を表4-3及び図4-2-1～6に示す。

表4.3 各シーリング材のQ S値変化

種 類	伸縮率 (%)	屋外・継ぎ				キセノンアーク (XWOM)				オープンフレームカーボンアーク (SWOM)				UV蛍光ランプ (UV)							
		1	2	3	4	1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000	1000	2000	3000	4000	5000	
SR-2	±1.5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	±15%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	±26%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IB-2	±1.5%	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	±15%	0	10	15	15	0	0	0	5	0	2	6	8	0	0	3	3	0	0	3	3
	±26%	0	10	15	15	0	0	0	5	0	6	10	10	0	0	6	6	0	0	6	6
MS-2	±1.5%	0	4	12	12	0	6	15	15	9	12	15	15	0	6	5	5	0	5	5	5
	±15%	5	10	15	15	12	15	25	25	12	20	20	25	6	6	6	6	6	6	6	6
	±26%	5	10	15	15	15	20	25	25	12	20	20	25	6	6	6	6	6	6	6	6
MS-1	±1.5%	0	0	0	1.5	0	0	0	9	0	0	9	12	0	0	0	0	0	0	0	0
	±15%	9	5	5	5	0	0	10	15	0	10	15	15	0	10	15	15	0	0	0	0
	±26%	5	5	5	5	0	0	10	15	0	10	15	15	0	10	15	15	0	0	0	0
PU-2	±1.5%	15	15	15	15	20	25	25	25	16	20	25	25	16	20	25	25	15	15	15	15
	±15%	15	15	20	20	20	25	25	25	20	25	25	25	20	25	25	25	12	15	15	15
	±25%	15	20	20	20	20	25	25	25	20	25	25	25	20	25	25	25	15	15	15	15
PU-1	±1.5%	0	0	5	5	0	4	15	15	0	15	15	20	0	15	15	20	0	0	0	0
	±15%	0	0	5	5	0	5	15	15	5	15	15	20	5	15	15	20	0	0	0	0
	±26%	0	5	5	5	0	5	15	15	5	15	15	20	5	15	15	20	0	0	0	0

注) 各暴露条件下の数値は暴露期間で、屋外暴露は年数、促進暴露は時間を示す。

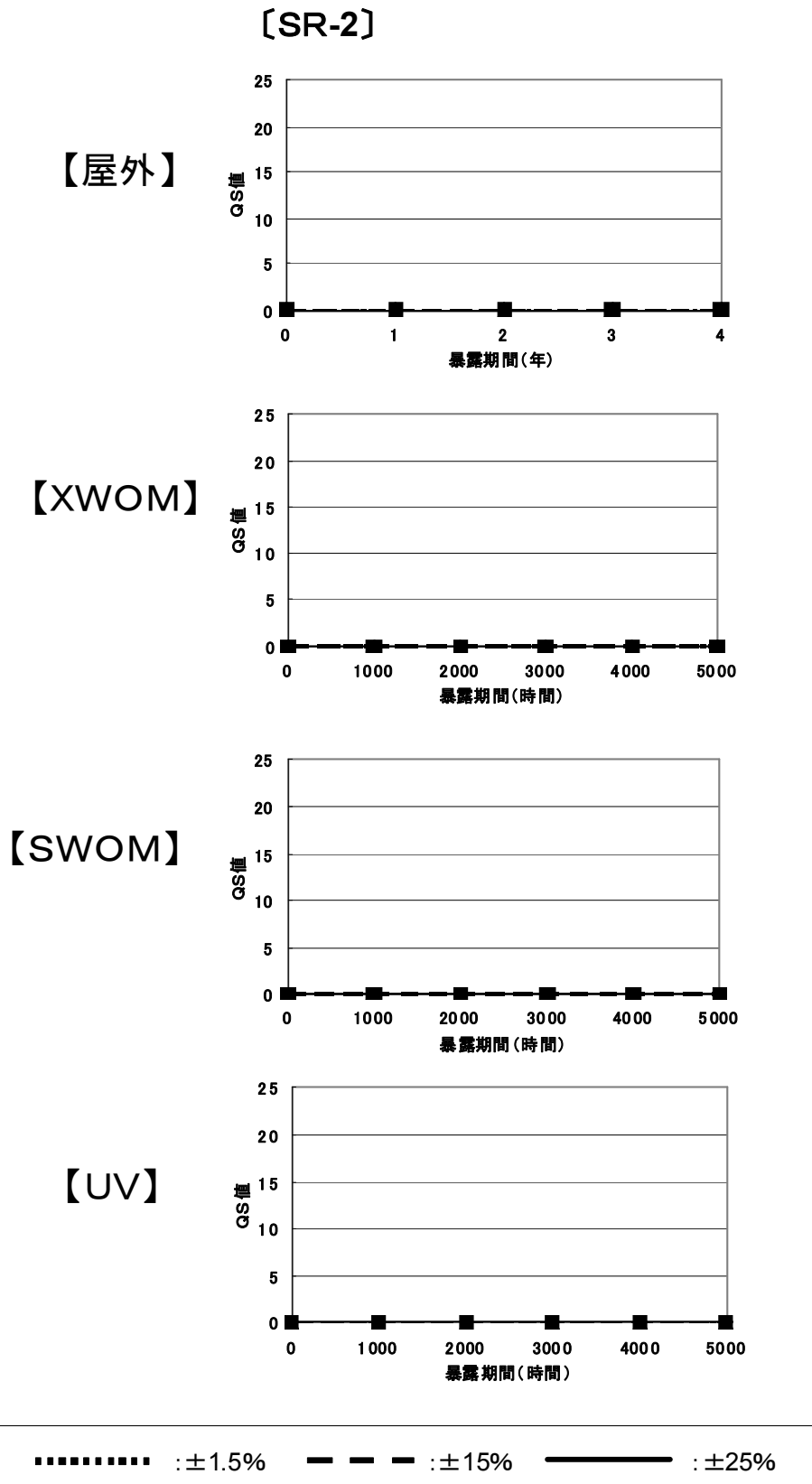


図 4-2-1 光源による暴露期間と QS 値変化〔SR-2〕

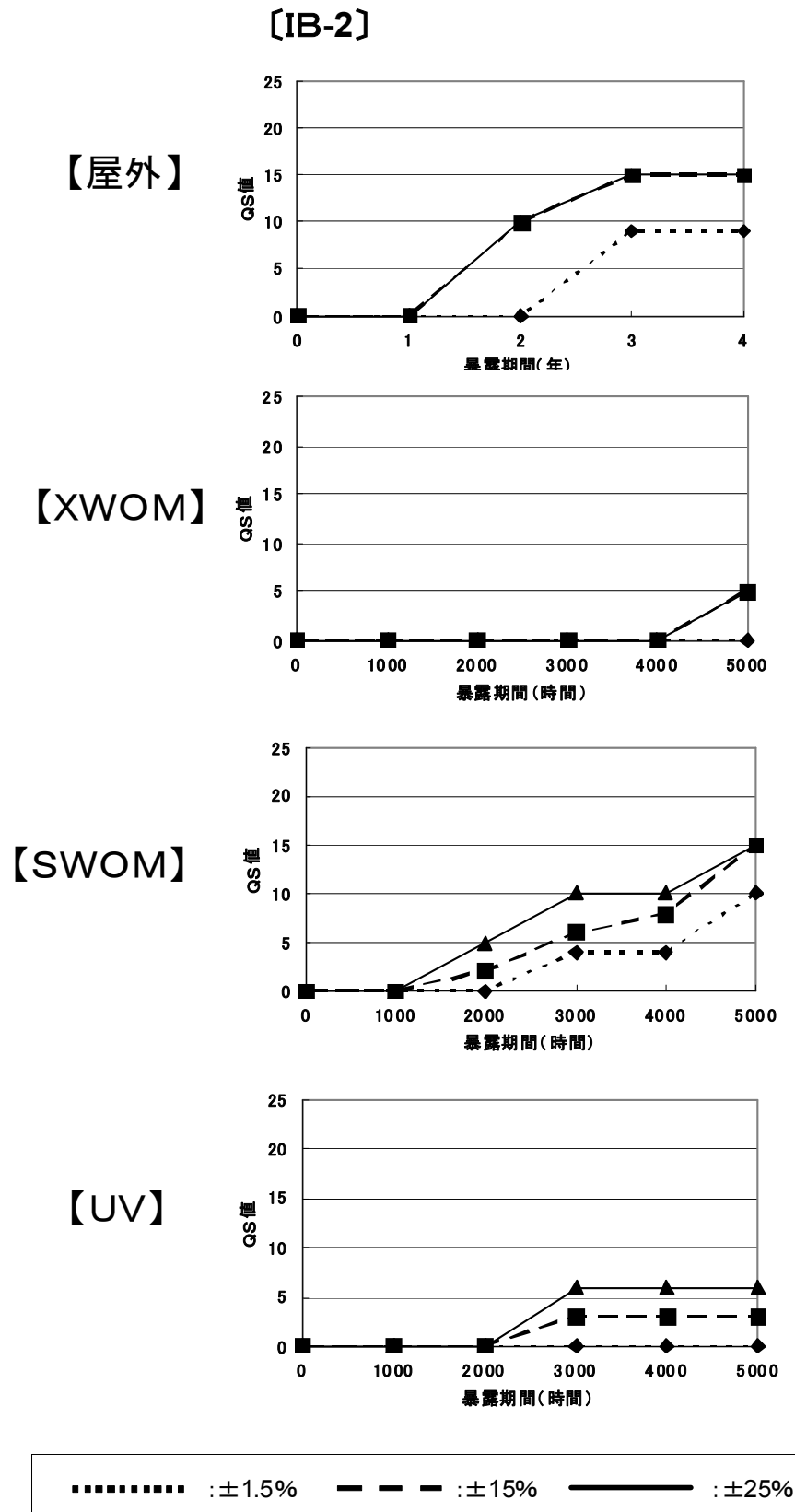


図 4-2-2 光源による暴露期間と QS 値変化 [I B-2]

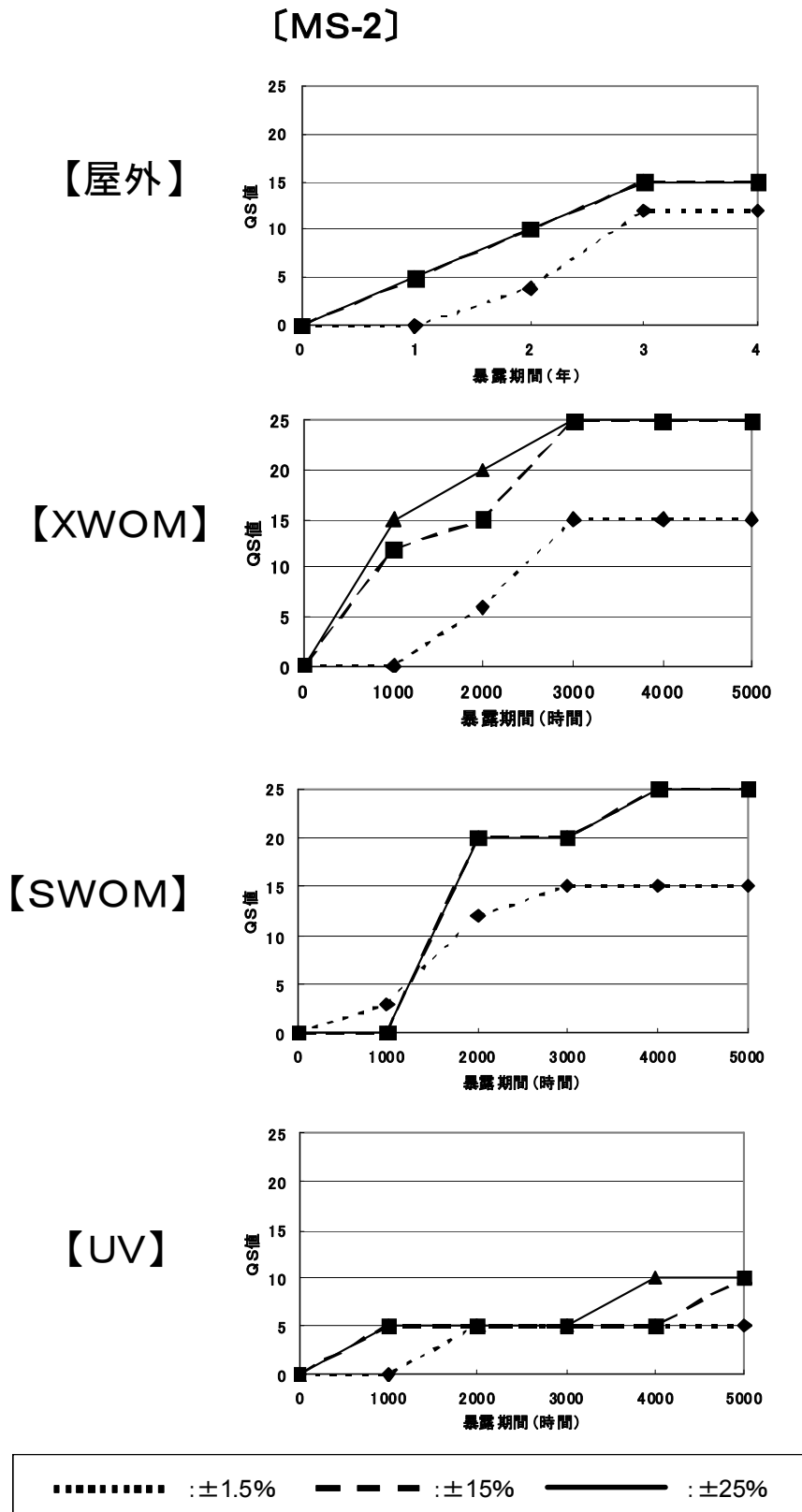


図 4-2-3 光源による暴露期間と QS 値変化 [MS-2]

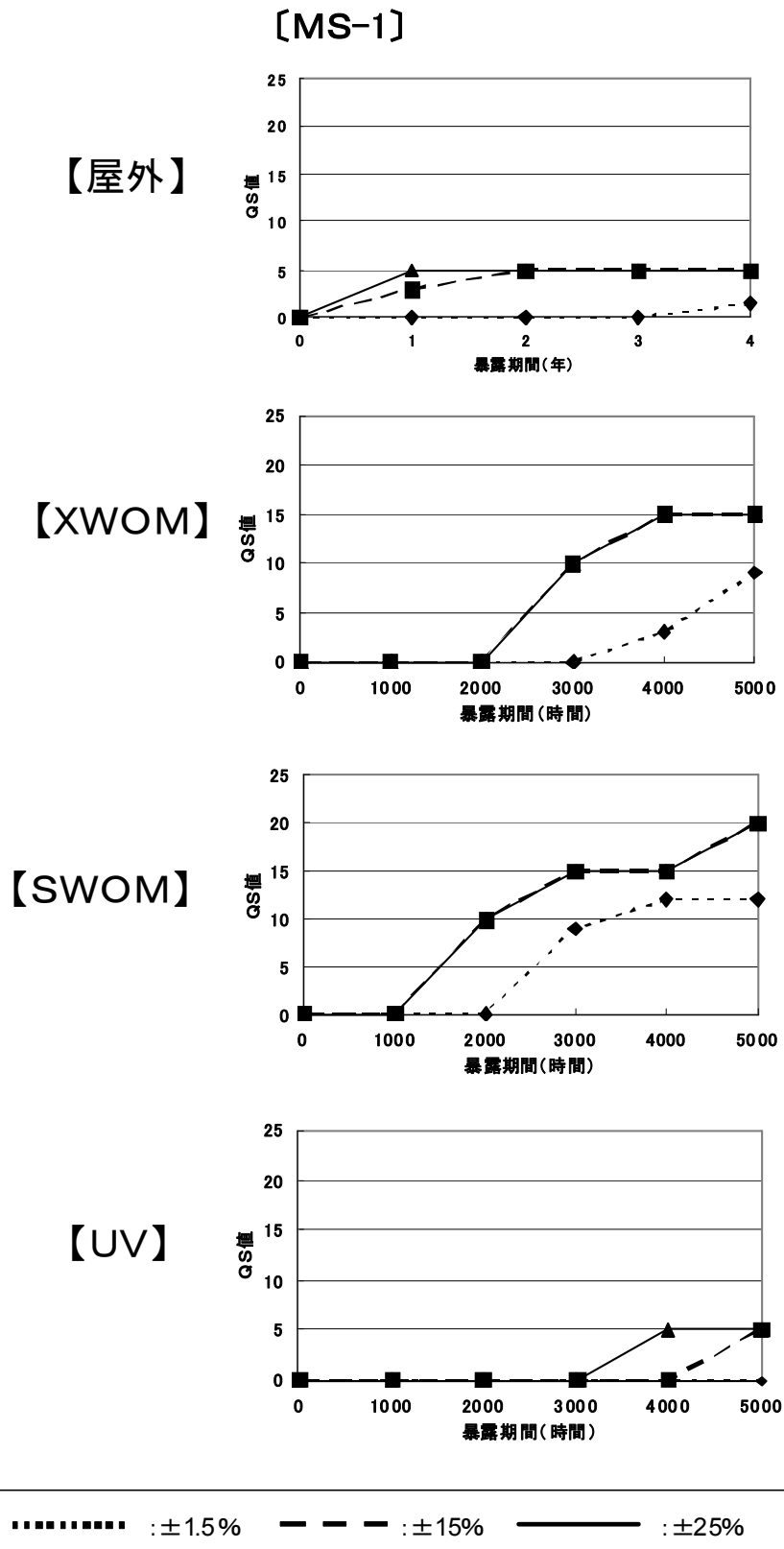


図 4-2-4 光源による暴露期間と QS 値変化 [MS-1]

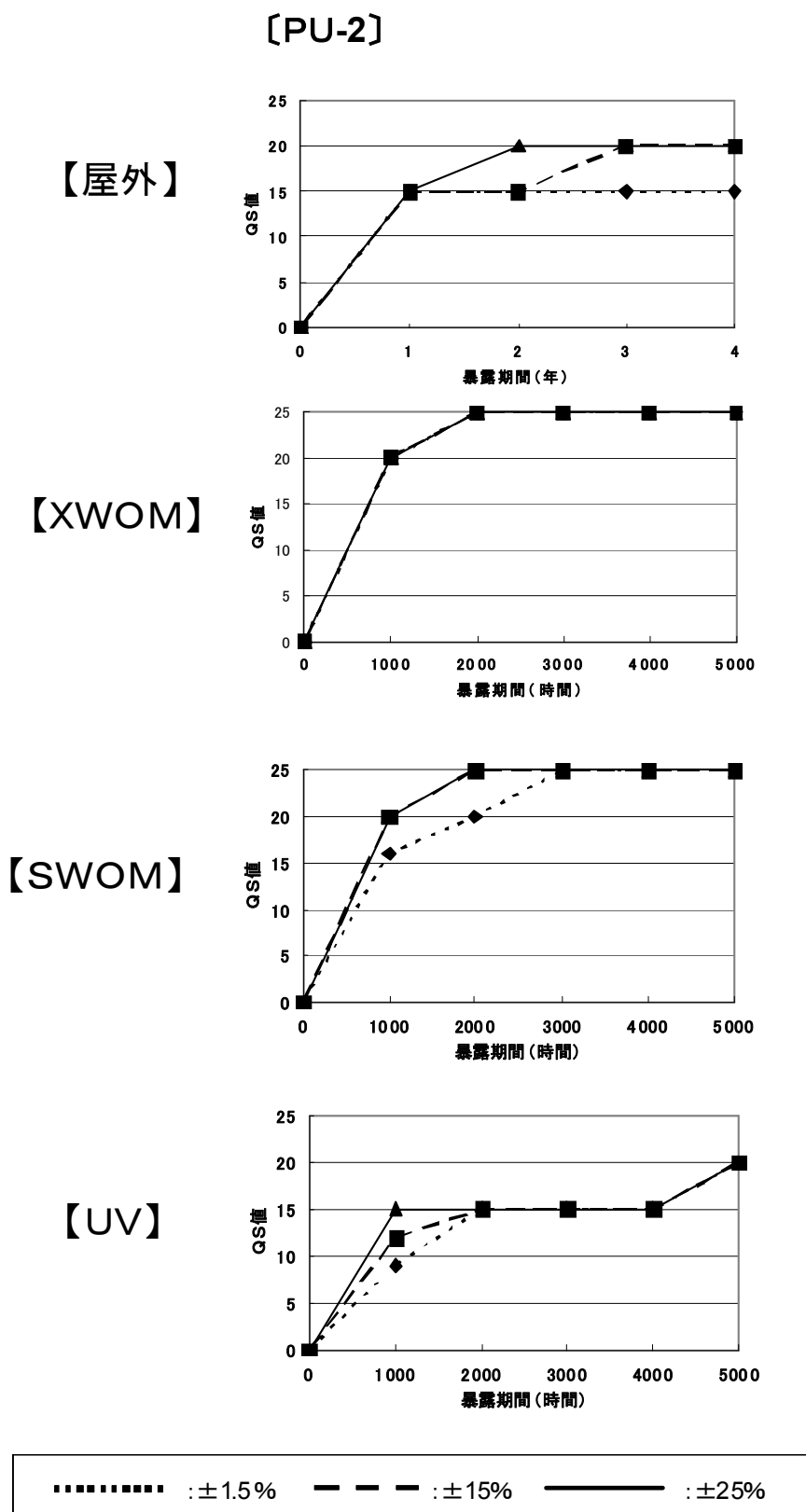


図 4-2-5 光源による暴露期間と QS 値変化 [PU-2]

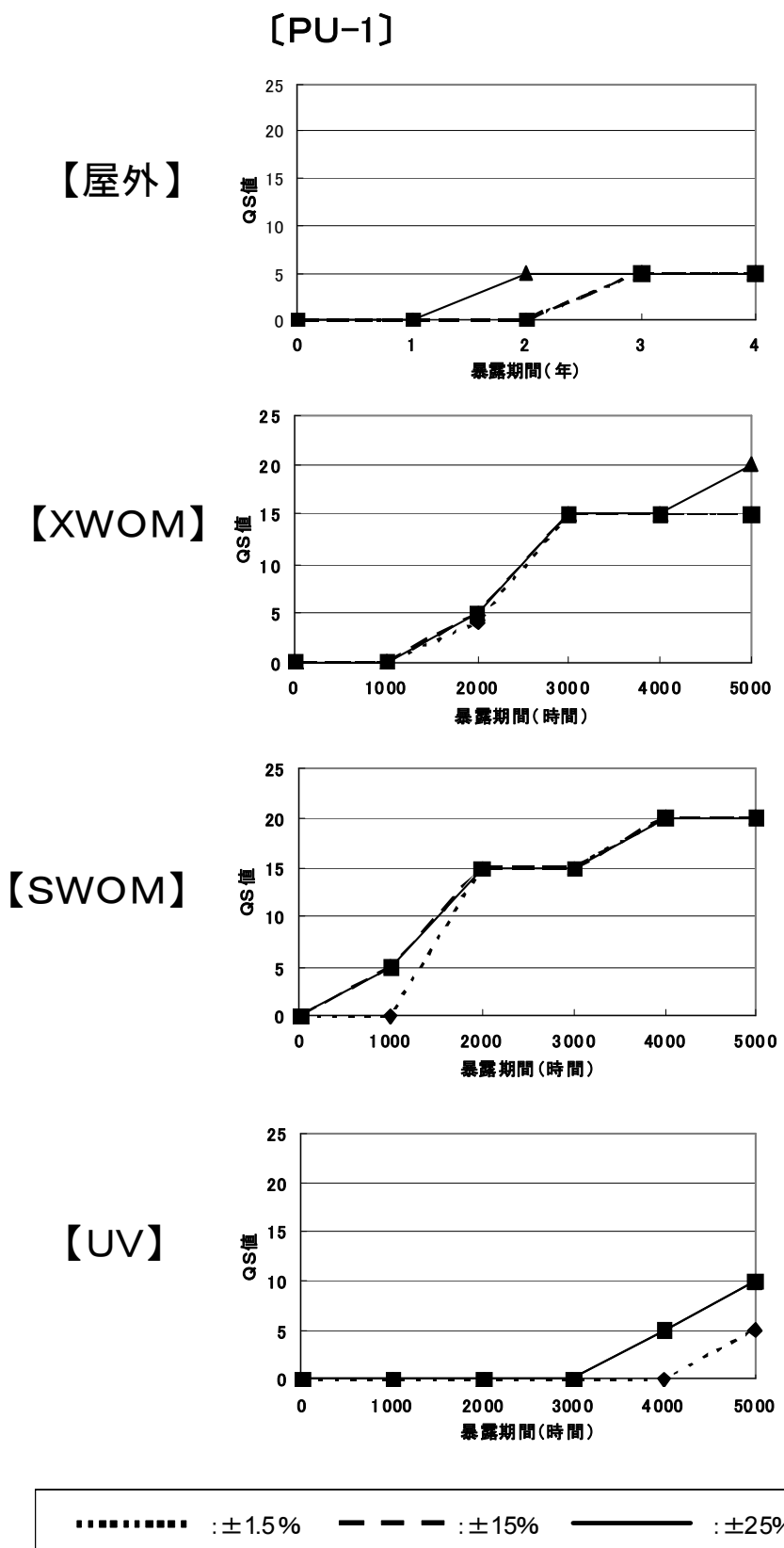


図 4-2-6 光源による暴露期間と QS 値変化 [PU-1]

4.3 光源による劣化促進倍率の設定

屋外暴露及び促進暴露試験より得られたQS値変化より、以下のプロセスで屋外暴露に対する促進暴露試験装置の各光源による促進倍率を求めた。

〔光源による劣化促進倍率算定プロセス〕

- 1) 試験結果より得られたQS値を、QS値/暴露時間/伸縮率の三軸で曲面化した。
- 2) 各伸縮率毎に判定QS値に到達する時間を求めた。なお、判定QS値は5段階ごとを原則としたが、該当QS値が少ない場合は他のQS値(QS値:2.5など)を追加した。
- 3) 判定QS値に達する屋外暴露における到達時間を、同じQS値に達する促進暴露における到達時間を式(6)にもとずき除した。
- 4) 3)の操作を各判定QS値及び伸縮率で行い、それらの平均値を屋外暴露に対する促進暴露試験機の光源による促進倍率とした。

図4-3にQS値到達時間の判定プロセスを、式(6)に光源による促進倍率算定式を示す。

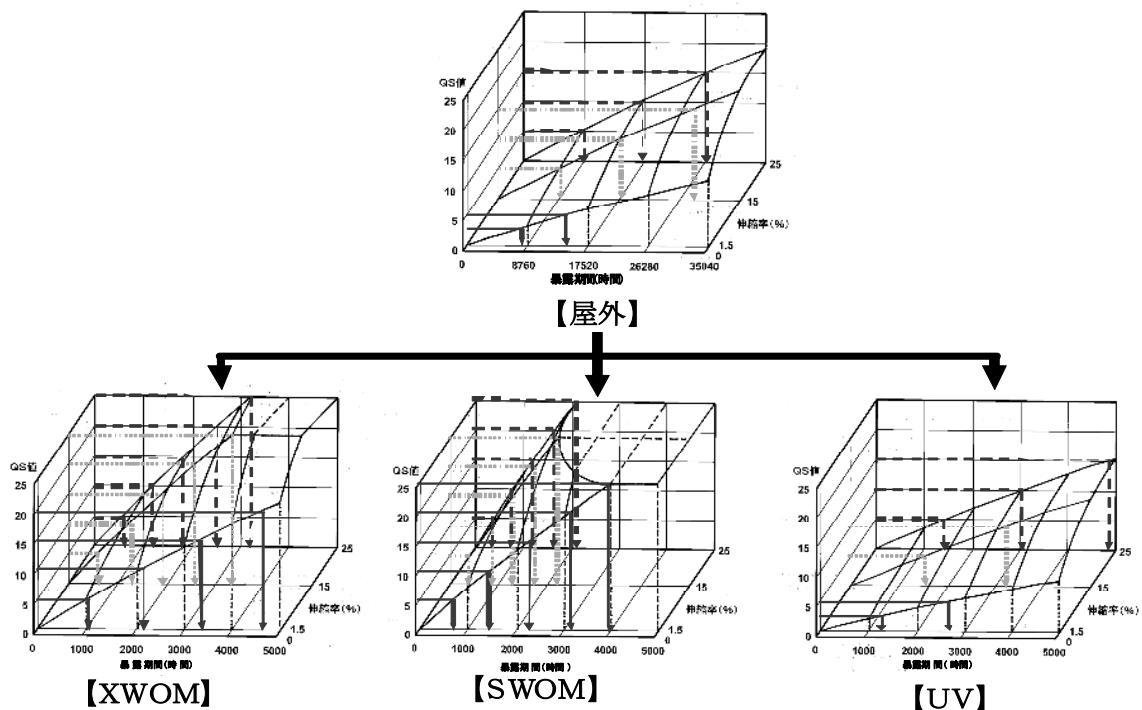


図4-3 QS値到達時間の判定プロセス(例:MS-2)

$$K = t \text{ [屋外]} / t \text{ [各光源]} \dots\dots\dots (6)$$

K : 光源による促進倍率
 t [屋外] : 屋外における判定QS値到達時間
 t [各光源] : 各光源における判定QS値到達時間

式(6)にもとづく光源による促進倍率(K)を表4-4及び図4-4に示す。

表4-4 光源による促進倍率(K)

光源	SR-2	IB-2	MS-2	MS-1	PU-2	PU-1
XWOM	—	0.6	11.4	11.4	18.0	9.5
SWOM	—	2.9	16.2	18.3	16.4	25.3
UV	—	0.9	4.7	3.0	6.7	2.7

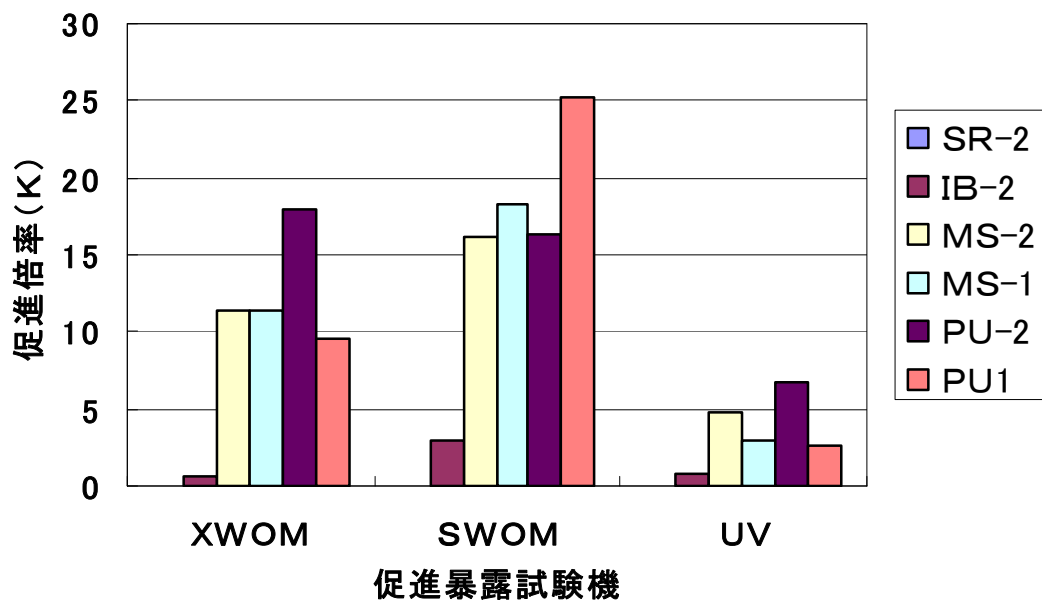


図4-4 促進暴露試験機光源による促進倍率(K)

表4-4に示す促進暴露光源による促進倍率（K）より、屋外暴露1年間に相当する促進暴露の照射時間を式（7）より求めた。

$$\text{屋外1年に相当する促進暴露照射時間} = 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} / \text{光源による促進倍率} \cdots (7)$$

屋外暴露1年に相当する促進暴露光源毎の照射時間を表4-5及び図4-5に示す。

従来、屋外暴露1年に相当する促進暴露時間については種々の説が存在したが、建築用シーリング材について表面ひび割れ状態を尺度とした場合、定量的に相当する照射時間を提示することができた。

表 4-5 屋外暴露1年に相当する促進暴露光源毎の照射時間

光源	SR-2	IB-2	MS-2	MS-1	PU-2	PU-1
XWOM	—	14,600	770	770	780	920
SWOM	—	3,020	540	470	530	340
UV	—	9,730	1,860	2,920	1,300	3,240

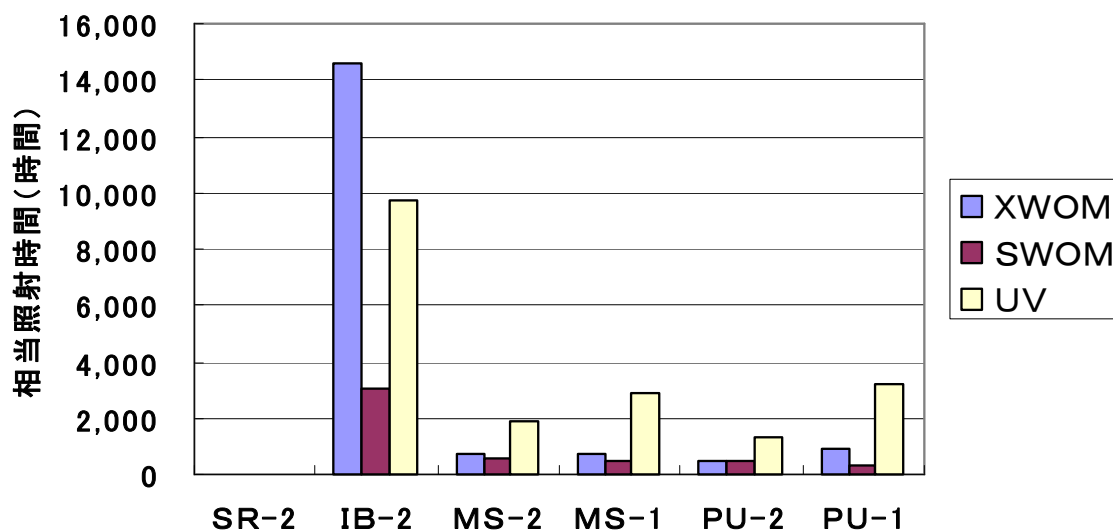


図 4-5 屋外暴露1年に相当する促進暴露光源毎の照射時間

4.4 光源によるQS値実験式

屋外暴露を基準とした場合、促進暴露に使用した光源の促進倍率を用いた各光源によるQS値実験式を式(8)に、また表4-6に各シーリング材の屋外暴露(銚子)におけるQS値実験式を示す。なお、暴露試験は目地幅可変型試験体を用いたため最小の伸縮率は±1.5%となる。

2成分形シリコン系シーリング材は今回の条件下では表面ひび割れを発生しないため、定数項(a、c)は0となるが、その他のシーリング材は表4-6に示す定数値を示した。なお、当QS値実験式は暴露期間の単位を時間としたため、単位を月数とした場合に比べ定数項aのオーダーが異なる。

$$\begin{aligned}
 QS(\varepsilon \cdot t) &= K \times [\text{屋外でのQS値変化}] \\
 &= K \times [(a \cdot t^b) \times \{1 + c \cdot (\varepsilon - 1.5)^d\}] \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

Q(ε・t)：t時間後、伸縮率ε%におけるQS値

K：各光源の屋外に対する促進倍率

t：暴露期間(時間)

ε：伸縮率(%) [最小伸縮率1.5%]

a、b、c、d：各シーリング材に求められる定数

表4-6 屋外暴露におけるQS値実験式

種類	QS値算定式
SR-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0 \cdot t^{1.0}) \times \{1 + 0 \cdot (\varepsilon - 1.5)^{1.0}\}$
IB-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (1.2 \times 10^{-3} \cdot t^{0.9}) \times \{1 + 0.5 \cdot (\varepsilon - 1.5)^{0.1}\}$
MS-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (8.8 \times 10^{-4} \cdot t^{0.9}) \times \{1 + 0.4 \cdot (\varepsilon - 1.5)^{0.2}\}$
MS-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (4.6 \times 10^{-5} \cdot t^{1.0}) \times \{1 + 0.2 \cdot (\varepsilon - 1.5)^{1.0}\}$
PU-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (7.0 \times 10^{-3} \cdot t^{0.7}) \times \{1 + 0.2 \cdot (\varepsilon - 1.5)^{0.3}\}$
PU-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (5.9 \times 10^{-4} \cdot t^{0.9}) \times \{1 + 7.0 \times 10^{-24} \cdot (\varepsilon - 1.5)^{16.3}\}$

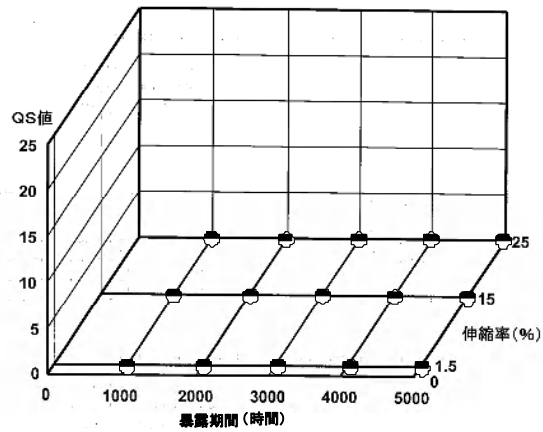
4.5 QS値実験式の計算値と観測値の関係

4.3の光源による促進倍率と4.4のQS値実験式より得られたQS値の計算値と実際の観測値の関係を図4-6-1~6に示す。

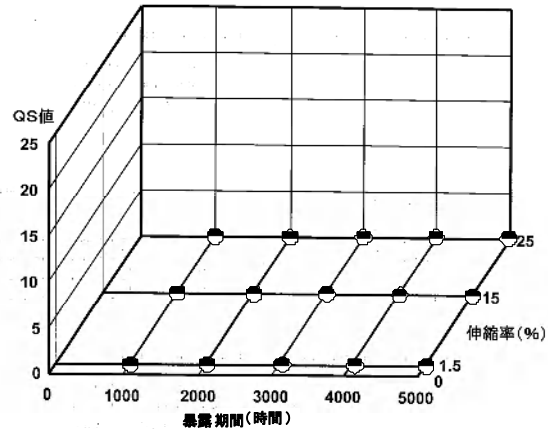
平曲面が各シーリング材のQS値実験式より求めたQS値を示し、丸印が観測したQS値を示す。黒丸印(●)は計算値より観測値の方が高かった場合、白丸印(○)は観測値より計算値の方が高い場合を、また白/黒印(◐)は観測値と計算値が同一の場合を示す。

全体的に所定の暴露期間内のQS値実験式にもとづく計算値は観測値をよく表す結果となった。

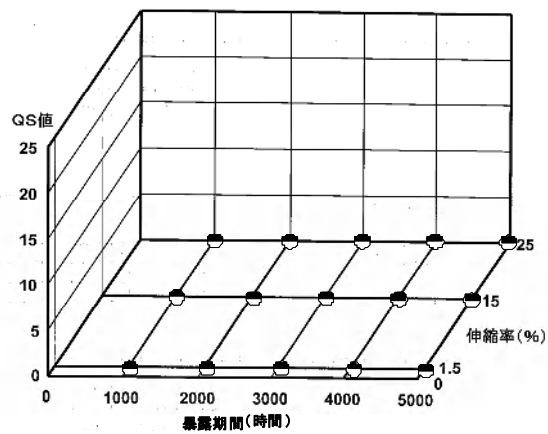
【XWOM】



【SWOM】



【UV】

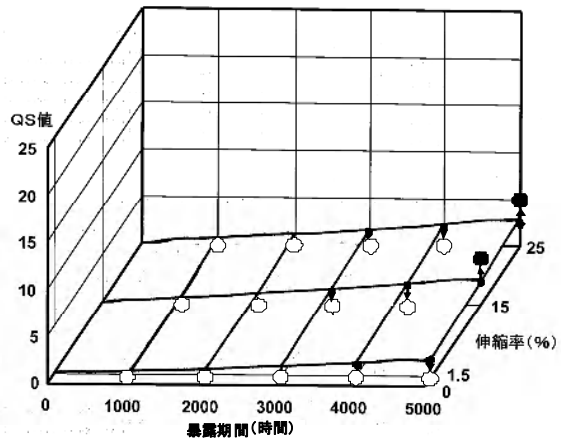


1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。

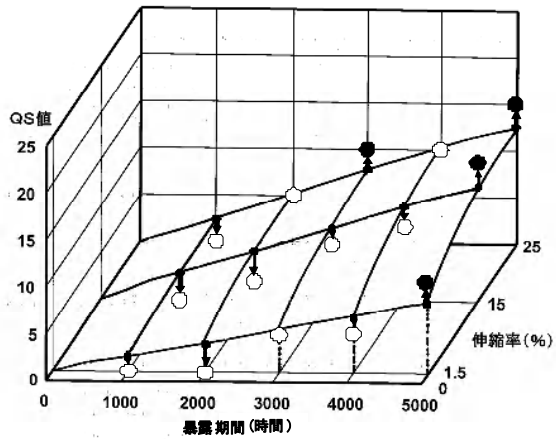
2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 4-6-1 QS 値実験式と観測値の関係 [SR-2]

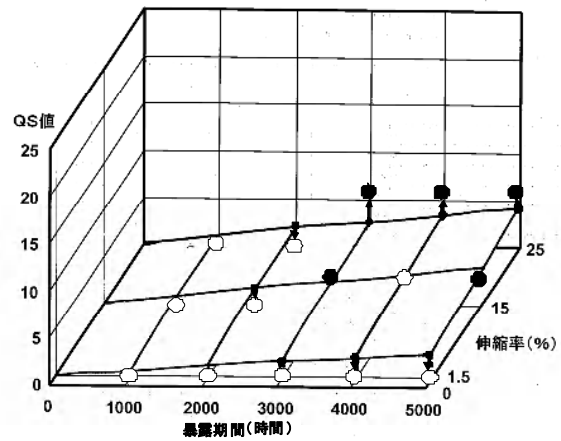
【XWOM】



【SWOM】



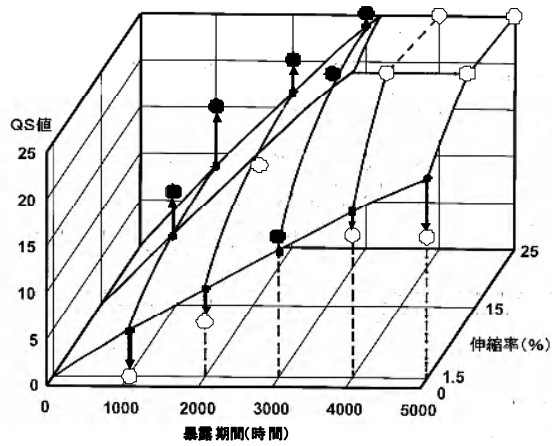
【UV】



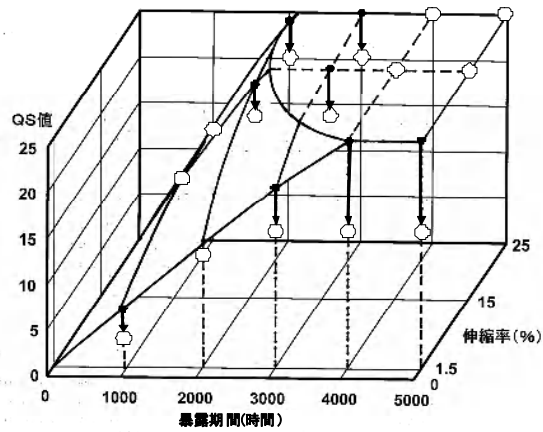
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測地>計算値、○: 計算値>観測値、◐: 観測値=計算値

図 4-6-2 QS 値実験式と観測値の関係 [I B - 2]

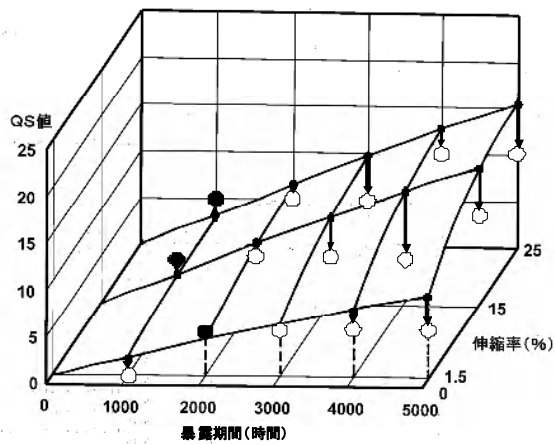
【XWOM】



【SWOM】



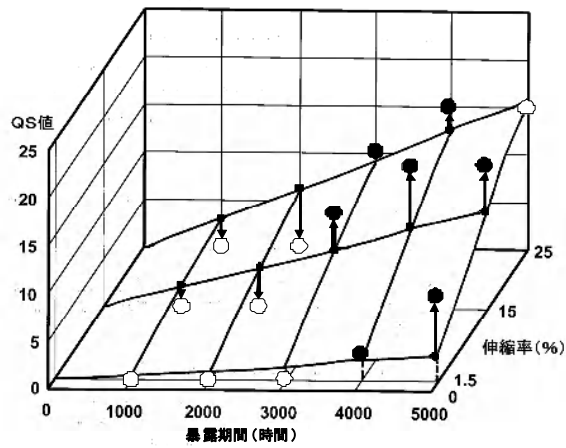
【UV】



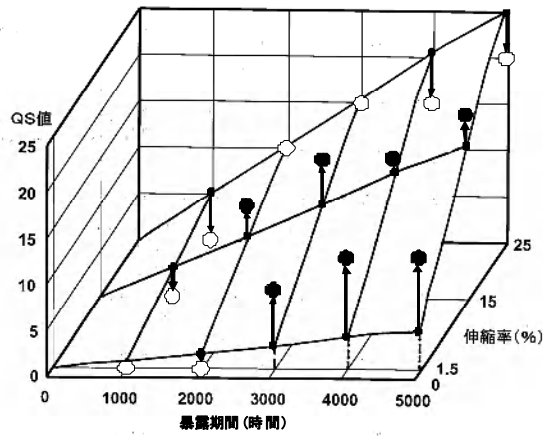
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 4-6-3 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-2]

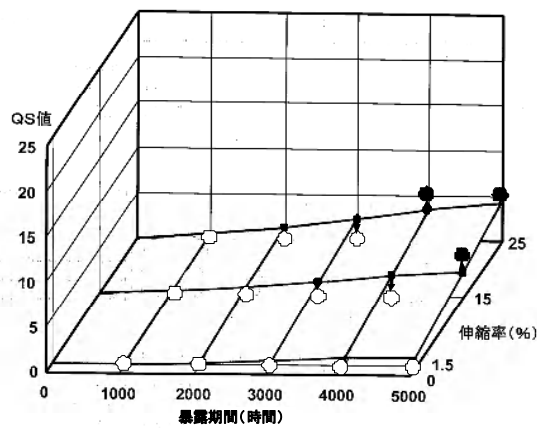
【XWOM】



【SWOM】



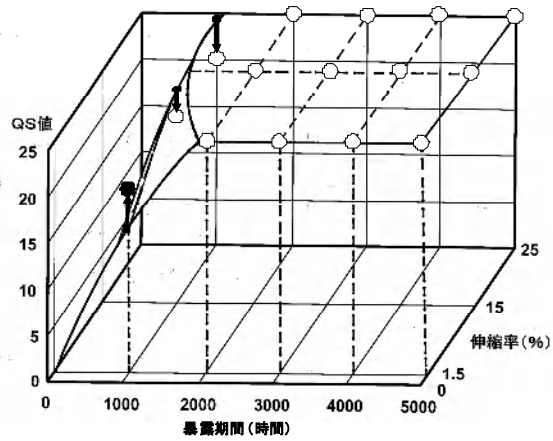
【UV】



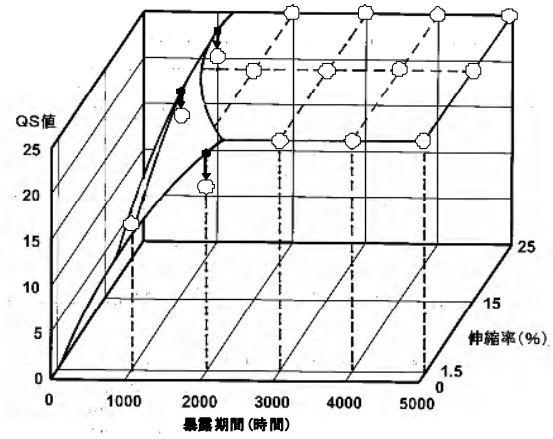
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 4-6-4 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-1]

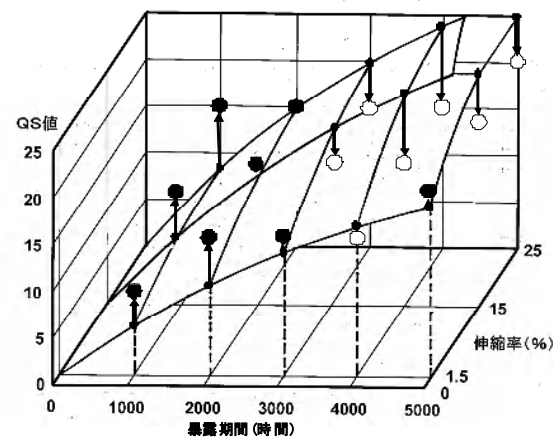
【XWOM】



【SWOM】



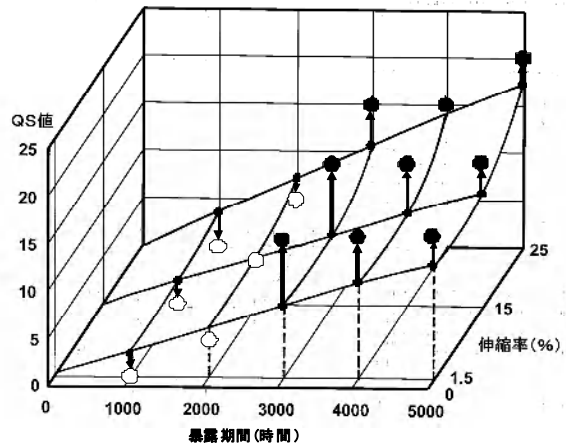
【UV】



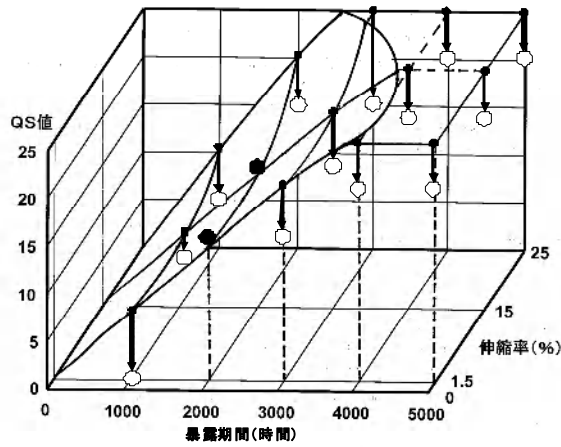
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 4-6-5 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-2]

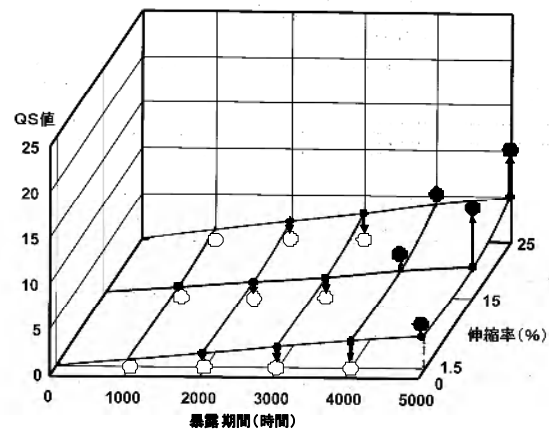
【XWOM】



【SWOM】



【UV】



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 4-6-6 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-1]

4.6 まとめ

屋外暴露に対する促進暴露の関係を、表面ひび割れ状態を表すQS値を尺度としての検討により以下の結果が得られた。

- 1) QS値をひび割れ状態の尺度とした場合、屋外暴露に対する各促進暴露試験装置の促進倍率を求めることができた。
- 2) 促進暴露試験装置について、光源による明確な規則性は認められなかったが、促進性はIB-2を除きUVに比べSWOM及びXWOMに促進効果があることが認められた。

従来、屋外暴露1年に相当する促進暴露での照射時間については諸説が存在したが、建築用シーリング材について表面ひび割れ状態(QS値)を尺度とした場合、定量的にあらわすことが可能となった。

また、IB-2のように光源によっては、促進暴露より屋外暴露の方が表面ひび割れの進行が早いという矛盾も判明した。

- 3) 耐候劣化に伴う表面ひび割れ状態に差が発生する要因としては、シーリング材の諸性能を改善するため種々の改質剤が用いられ、それらが表面ひび割れ状態の発生に影響を及ぼすものと推察される。
- 5) 屋外暴露と促進暴露の相関はシーリング材種類により促進倍率が異なるため、個々のシーリング材について基準となる屋外暴露での評価が不可欠である。

第5章

耐候性に対する地域因子の影響

5.1 はじめに

第4章での検討結果より、建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れの評価において屋外暴露が不可欠であることが判明した。

表面ひび割れ状態に対する地域因子の影響度合を確認するため、Q S 値をひび割れ状態の評価尺度として気象条件の異なる国内三地域で屋外暴露試験を行い、地域因子の定量化を試みた。

5.2 屋外暴露試験の概要

①暴露試験条件の概要

試験シーリング材は国内で使用されている主要な8種類の主成分の異なる1成分形及び2成分形シーリング材を選定し、南北に長い日本の地理的条件を考慮し暴露場所は寒冷地（旭川）・温暖地（銚子）及び亜熱帯（宮古島）の三地域とした。

試験体は伸縮変形を発生しない目地幅固定型試験体（図2-2参照）と伸縮変形が加わる目地幅可変型試験体（図2-1参照）を用い、目地幅可変型試験体の伸縮変形付与頻度は第2章の評価結果より1回/月とした。また、表面ひび割れ状態の観測部位は、目地幅固定型試験体で伸縮率±0%、目地幅可変型試験体で伸縮率±1.5・±15%・±25%の3個所で行い、暴露期間は4年間とした。

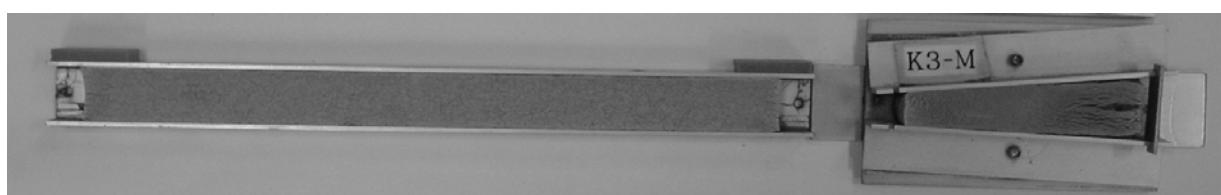
暴露試験の概要を表5-1に、試験に使用したシーリング材の物理的性質を表5-2に、試験体の概要を写真5-1に示す。

表 5-1 暴露試験の概要

シーリング材*	記号	暴露場所	暴露期間	方位・角度	伸縮変形付与条件	劣化状態観察部位
*2成分形シリコン系(SR-2)	SR-2					
*2成分形ポリイソブチレン系	IB-2	*寒冷地				±0%
*2成分形変性シリコン系(汎用タイプ)	MS-2(汎用)	(旭川)*1	2002.10.01	*南面 *45°	*なし	±1.5%
*2成分形変性シリコン系(応力緩和タイプ)	MS-2(応緩)	*温暖地	~		*あり	±15%
*1成分形変性シリコン系	MS-1	(銚子)*2	2006.9.1.30		(1回/月)	±25%
*2成分形ポリサルファイド系	PS-2	*亜熱帯	(4年間)			
*2成分形ポリウレタン系	PU-2	(宮古島)*2				
*1成分形ポリウレタン系	PU-1					

注) シーリング材は日本シーリング材工業会会員メーカーの製品を使用

*1:北海道立建築総合研究所、*2:日本ウエザリングテストセンター



【固定型試験体】

【可変型試験体】

写真 5-1 試験体の概要

表 5-2 試験シーリング材の力学的性質

シーリング材	50%モジュラス (N・mm ²)	最大引張応力 (N/mm ²)	伸び率(%)
SR-2	0.14	0.81	1170
IB-2	0.11	0.38	485
MS-2(汎用)	0.15	0.49	650
MS-2(応緩)	0.12	0.43	480
MS-1	0.12	0.56	560
PS-2	0.14	0.40	550
PU-2	0.15	0.53	570
PU-1	0.14	1.03	950

注)JIS A 1439準拠

②暴露地の概要

屋外暴露は国内で気象条件が異なる三地域で行った。

気象的には南方地域になるに従い、気温・日射量および降水量の関係より、有機系建材に対する耐候劣化はより早く進行することが予想される。

三地域の地理的關係を図 5-1 に、各地域での試験期間における気象条件を表 5-3 に、また試験状況を写真 5-2 に示す。



図 5-1 暴露地域の地理的關係

表 5-3 暴露地の気象条件

項目	旭川	銚子	宮古島	
気温 (°C)	最高	33.6	28.8	33.1
	最低	-25.5	-2.1	13.5
	平均	6.6	14.2	23.7
積算全日射量 (0°・MJ/m ²)	16,962	20,345	22,694	
積算降水量(mm)	3,994	7,156	8,392	

注) ① 期間 : 2002.10.01~2006.09.30

② 積算降水量 : 気象庁データ

【寒冷地 (旭川)】



【温暖地 (銚子)】



【亜熱帯 (宮古島)】



写真 5-2 屋外暴露地の状況

③試験結果

各シーリング材の屋外暴露試験におけるQ S値の変化は、表面ひび割れを発生しない2成分形シリコン系シーリング材を除き、その他のシーリング材は暴露期間内においてQ S値の変化が認められた。

各暴露地毎の伸縮率毎におけるQ S値の変化を表5-4及び図5-2-1~8に示す。

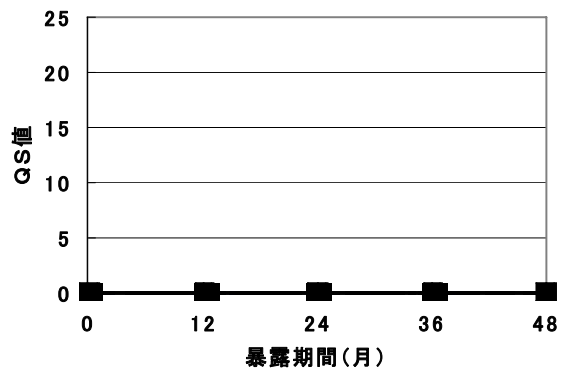
表5-4 Q S値の変化

種 類	伸縮率 (%)	寒冷地〔旭川〕					温暖地〔銚子〕					亜熱帯〔宮古島〕				
		0	12	24	36	48	0	12	24	36	48	0	12	24	36	48
SR-2	±0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	±1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	±15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	±25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IB-2	±0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1
	±1.5	0	0	0	10	10	0	0	0	9	9	0	0	0	0	1.5
	±15	0	0	0	10	10	0	0	10	15	15	0	0	0	8	8
	±25	0	0	0	10	10	0	0	10	15	15	0	0	4	10	10
MS-2 (汎用)	±0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	1
	±1.5	0	0	2	3	6	0	0	4	12	12	0	0	4	10	12
	±15	0	4	5	10	15	0	5	10	15	15	0	5	10	10	15
	±25	0	5	5	10	15	0	5	10	15	15	0	5	10	15	15
MS-2 (応緩)	±0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	±1.5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	2.5
	±15	0	0	0	5	5	0	0	0	10	10	0	0	0	10	10
	±25	0	0	0	5	5	0	0	5	10	10	0	0	0	10	10
MS-1	±0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	1.5
	±1.5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1.5	0	5	5	5	5
	±15	0	5	5	5	5	0	3	5	5	5	0	5	5	5	5
	±25	0	5	5	5	5	0	5	5	5	5	0	5	5	5	5
PS-2	±0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	6	0	0	2	4	4
	±1.5	0	12	15	15	20	0	6	12	15	15	0	12	15	15	15
	±15	0	15	20	20	20	0	12	15	15	20	0	15	20	20	20
	±25	0	20	20	20	20	0	15	15	15	20	0	15	20	20	20
PU-2	±0	0	3	10	15	15	0	10	10	15	15	0	10	15	15	15
	±1.5	0	15	15	15	20	0	15	15	15	15	0	15	15	15	15
	±15	0	15	15	15	20	0	15	15	20	20	0	20	20	20	20
	±25	0	15	15	15	20	0	15	20	20	20	0	20	20	25	25
PU-1	±0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	5	5	0	0	4	15	15
	±1.5	0	0	0	0	1.5	0	0	0	5	5	0	0	4	15	15
	±15	0	0	0	0	2.5	0	0	0	5	5	0	0	5	15	15
	±25	0	0	0	5	5	0	0	5	5	5	0	5	5	15	15

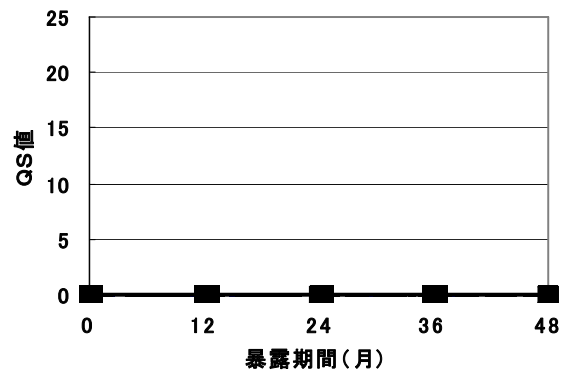
注) 暴露地下段の数値は暴露月数を表わす。

[SR-2]

【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



【亜熱帯(宮古島)】

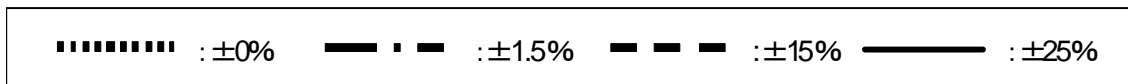
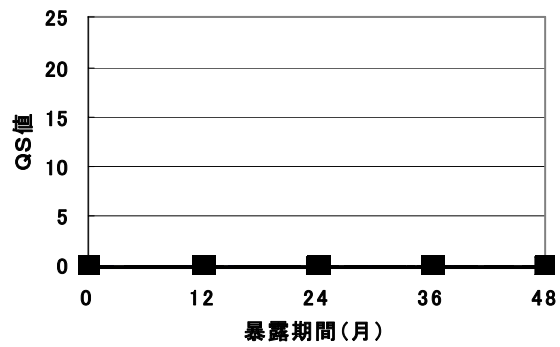
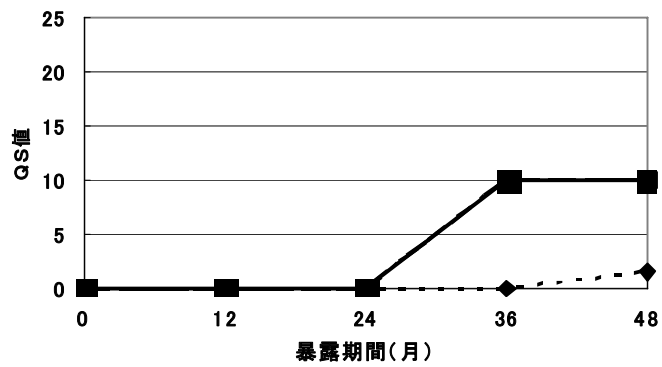


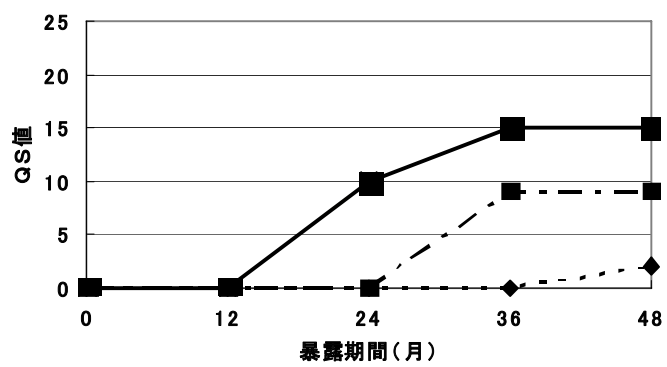
図 5-2-1 暴露期間に対するQS値の変化 [SR-2]

[IB-2]

【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



【亜熱帯(宮古島)】

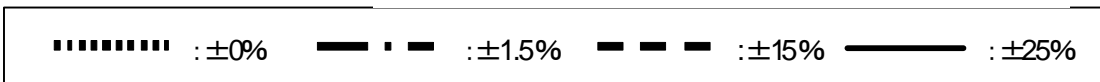
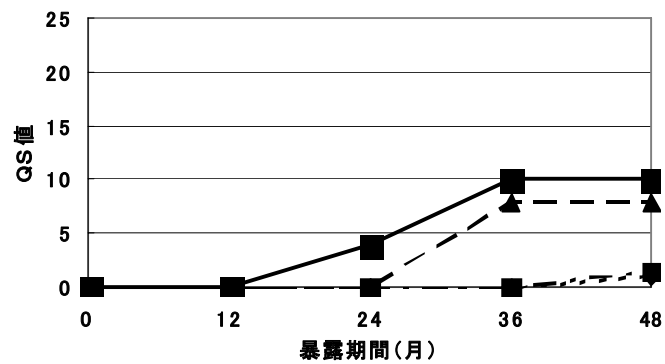


図 5-2-2 暴露期間に対するQS値の変化 [I B-2]

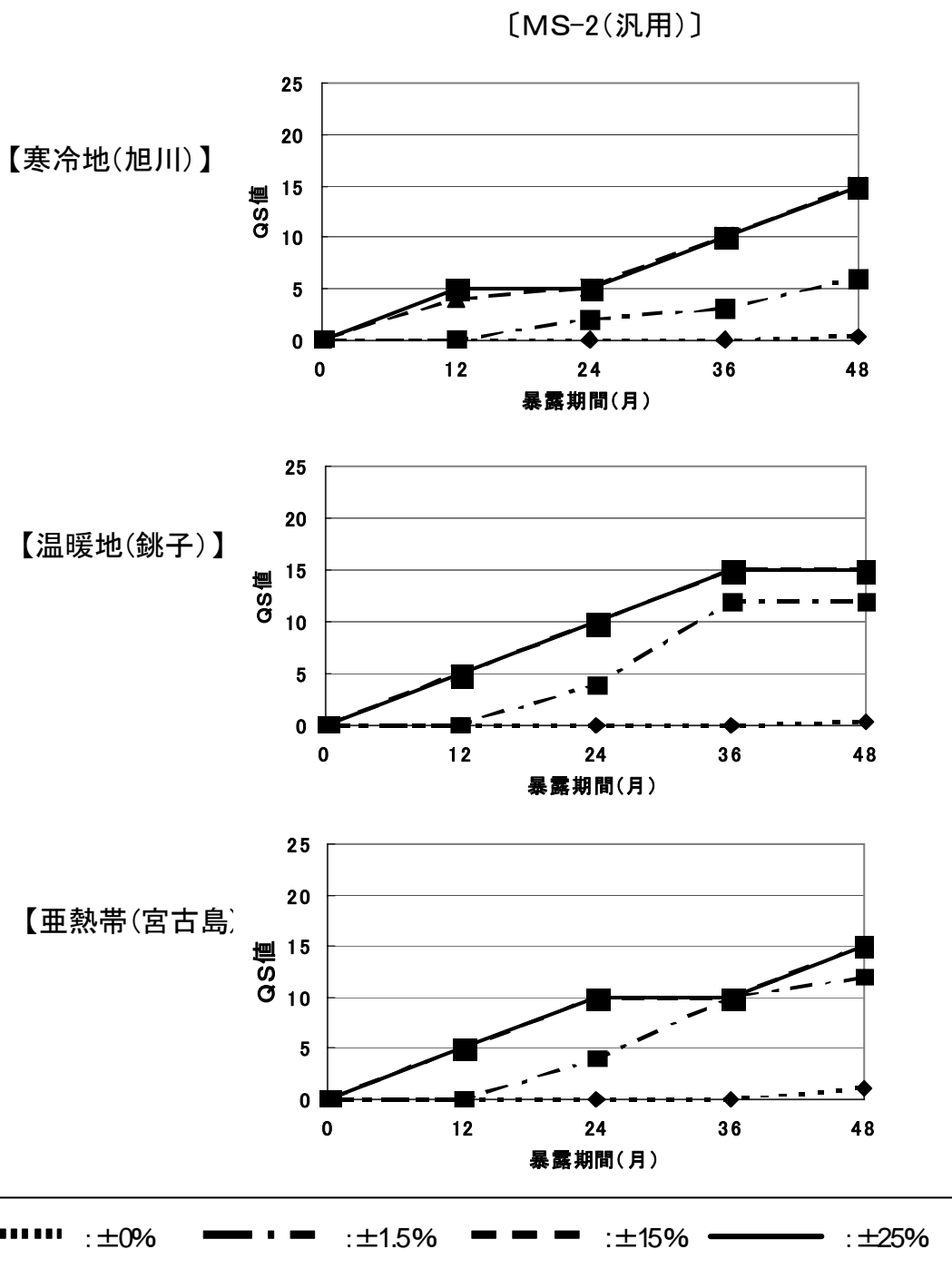


図 5-2-3 暴露期間に対するQS値の変化〔MS-2(汎用)〕

[MS-2(応緩)]

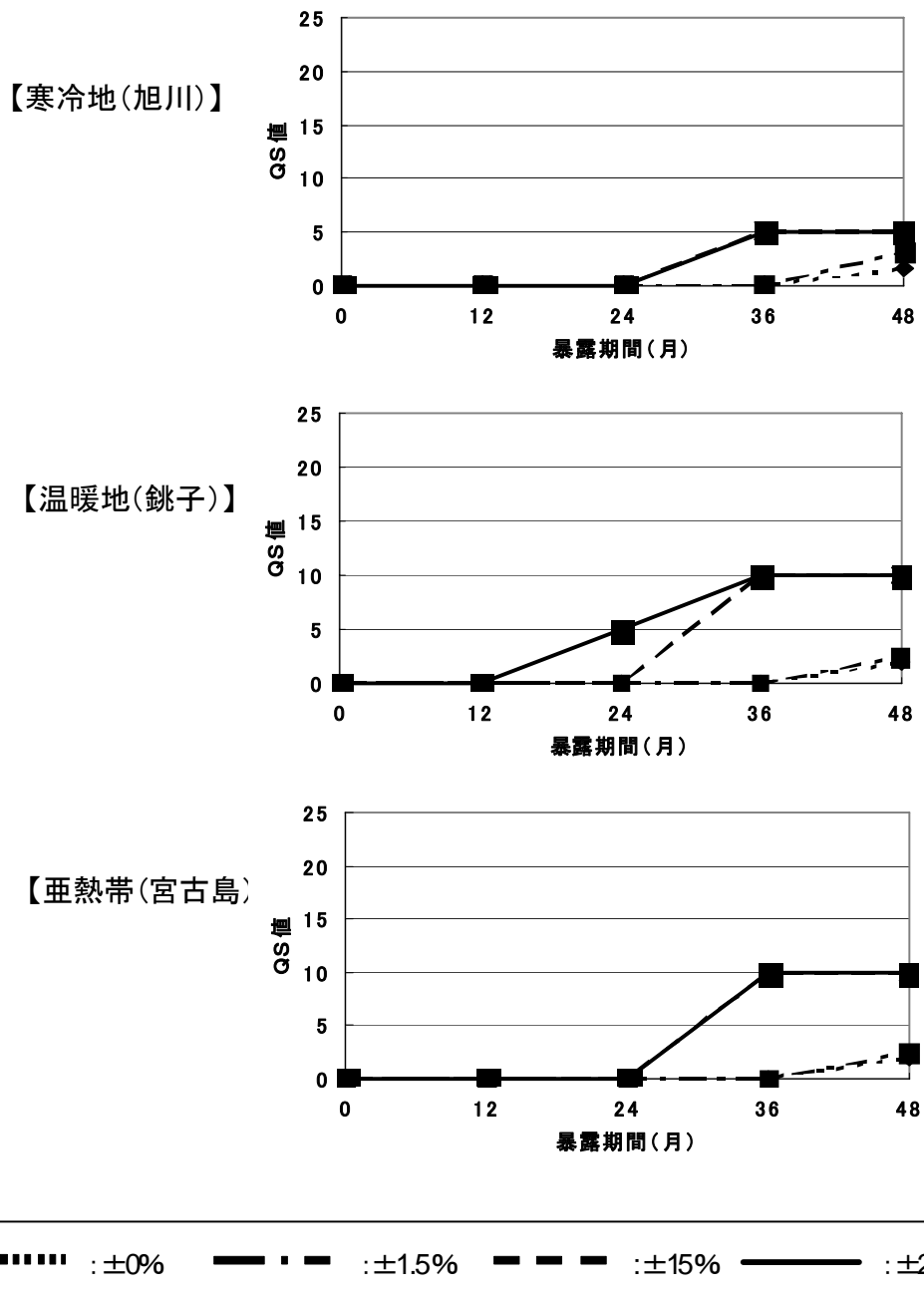


図 5-2-4 暴露期間に対するQS値の変化 [MS-2 (応緩)]

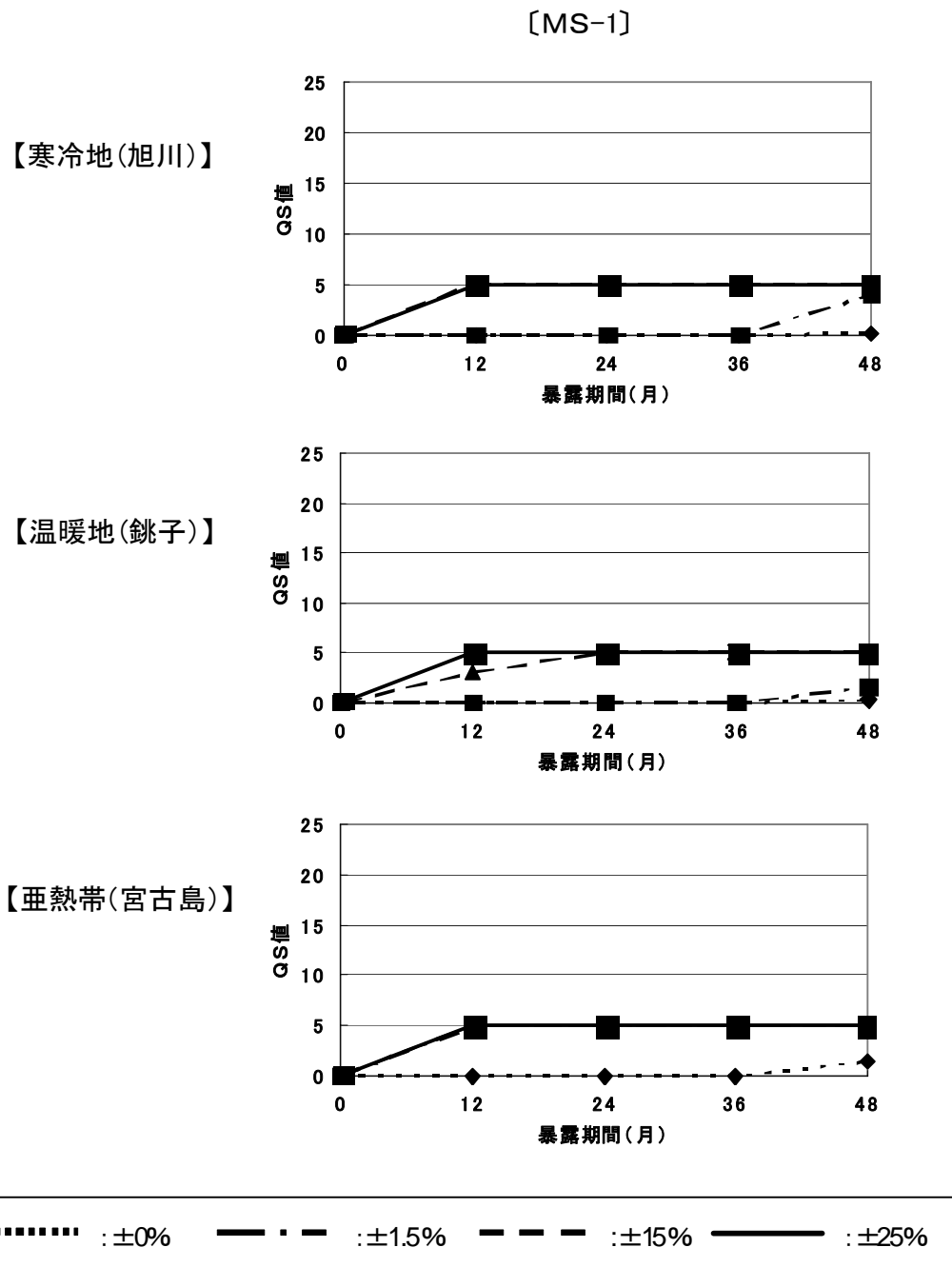


図 5-2-5 暴露期間に対するQS値の変化〔MS-1〕

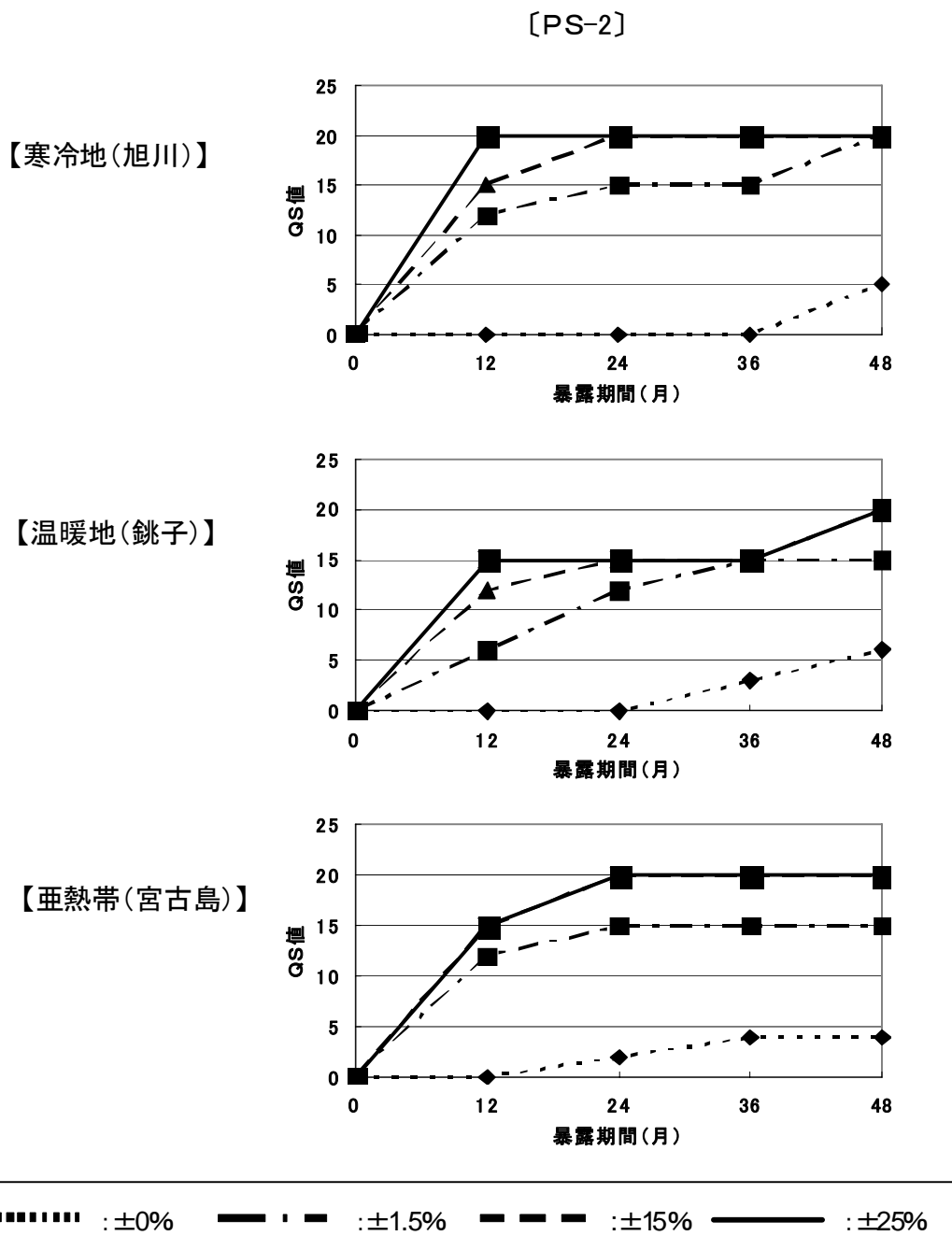


図 5-2-6 暴露期間に対するQS値の変化〔PS-2〕

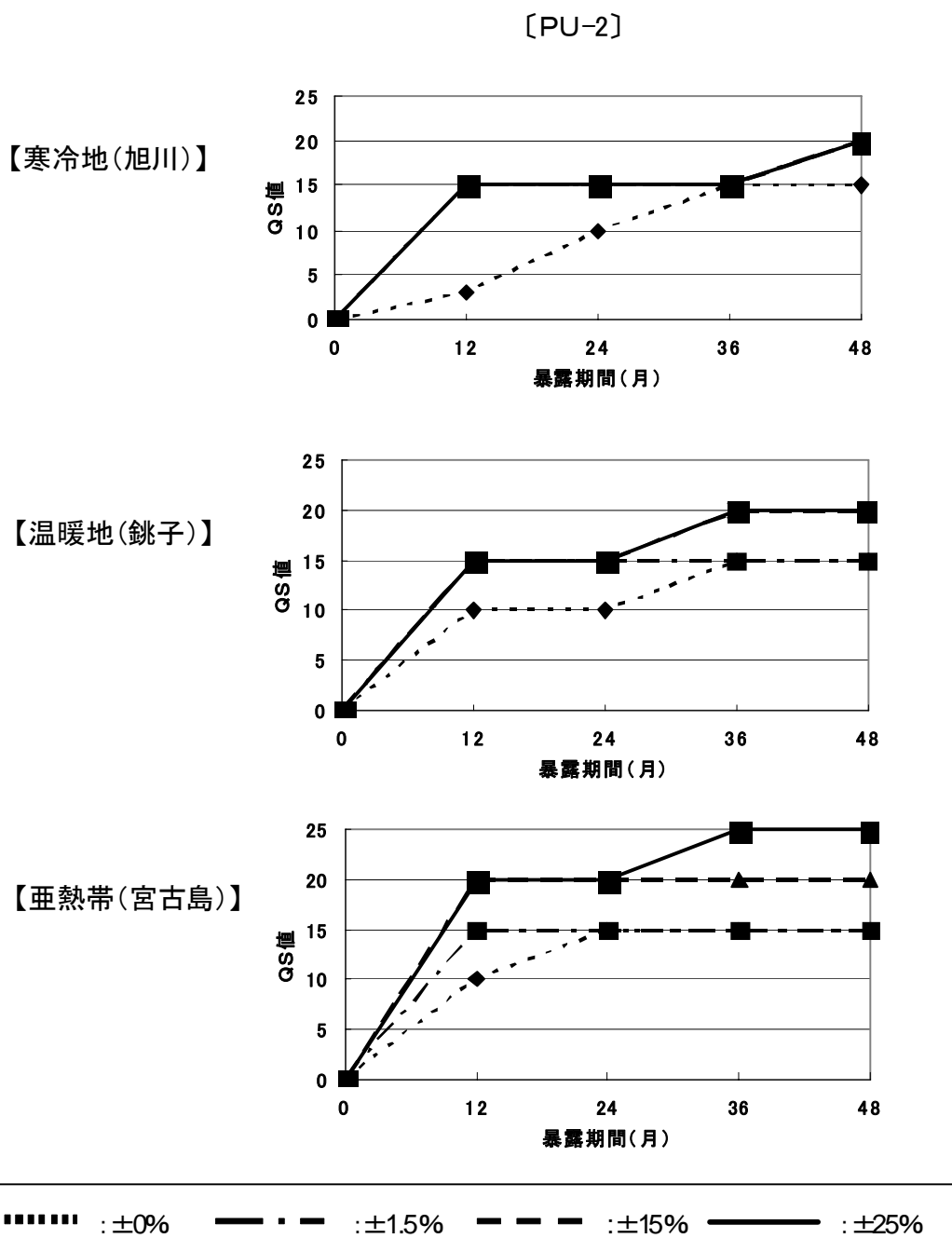


図 5-2-7 暴露期間に対するQS値の変化〔PU-2〕

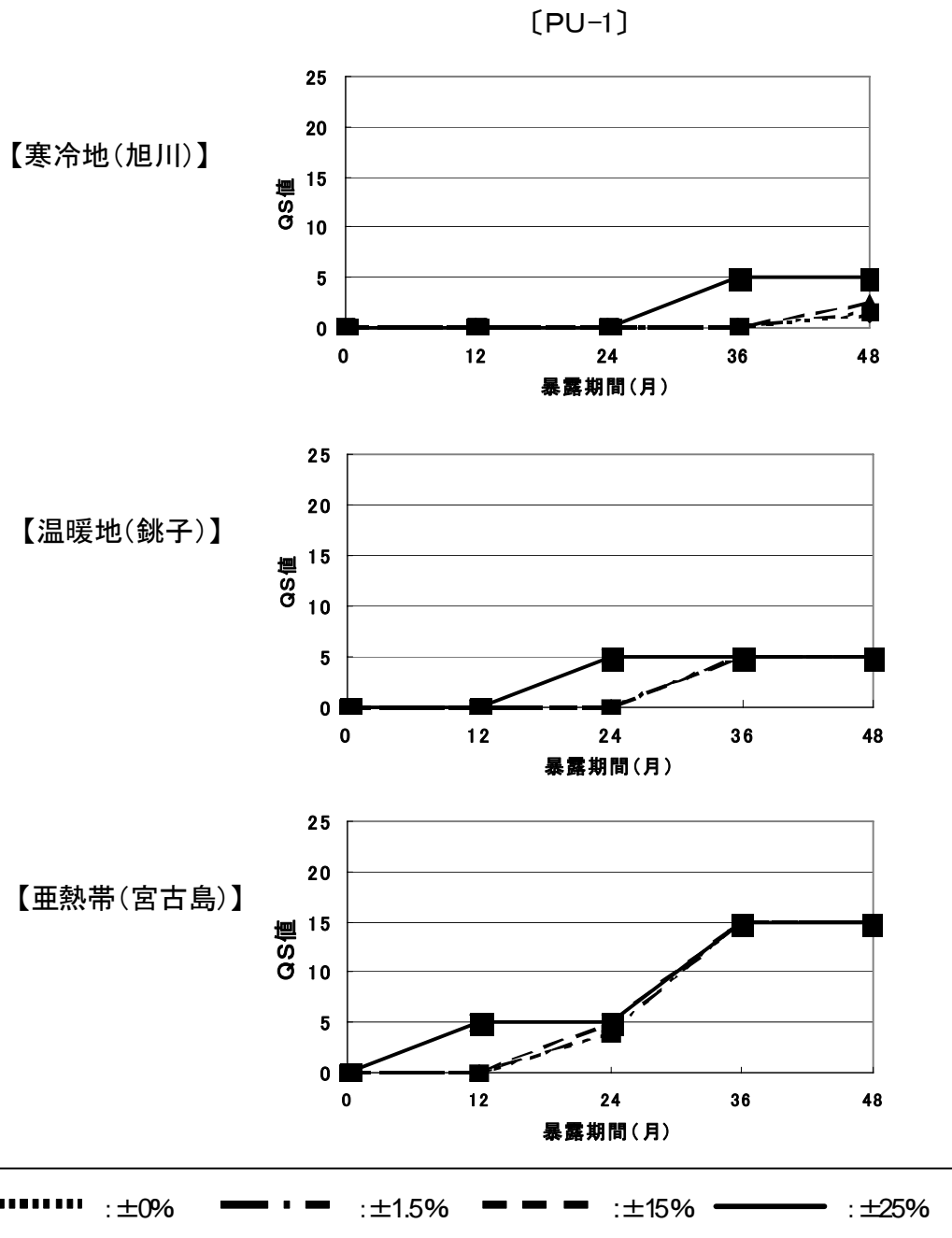


図 5-2-8 暴露期間に対するQS値の変化 [PU-1]

5.3 地域因子の定量化

屋外暴露試験より得られたQS値の変化より、以下のプロセスで銚子を基準とした場合の各地域の地域差比を求めた。

〔地域差比算定のプロセス〕

- 1) 試験結果より得られた各地域におけるQS値を、QS値/暴露時間/伸縮率の三軸で曲面化した。
- 2) 各伸縮率及び暴露期間毎に銚子におけるQS値を基準とし、式(9)により各地域の比率を求めた。
- 3) 各伸縮率及び暴露期間での比率の平均値を、銚子を基準(1.0)とした場合の他地域の地域差比とした。

図5-3に2成分形変成シリコーン系シーリング材(汎用タイプ)を例として、地域差比の設定モデルを、式(9)に地域差比算定式を示す。

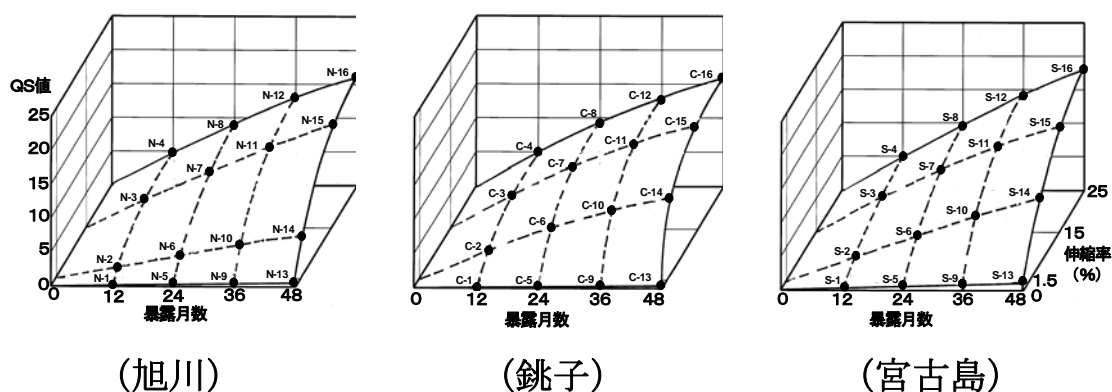


図 5-3 各暴露地におけるQS値変化モデル(例:MS-2(汎用))

$$R = QS \text{ 値 [各地]} / QS \text{ 値 [銚子]} \dots \dots \dots (9)$$

R : 地域差比

※ Rは図5-3における各ポイントにおけるすべての比率を計算し、それらの平均値とした

表面ひび割れが発生しない2成分形シリコン系シーリング材を除き、その他のシーリング材は基準とした温暖地（銚子）の1.0に対しそれぞれの地域差比を示した。

1成分形ポリウレタン系シーリング材は当初予想した気象条件を反映した形で南方地域になるに従い表面ひび割れ状態（QS値）が増大したが、その他のシーリング材は気象条件による耐候劣化の進行が当初の予想と異なる結果となった。

この結果より、今回評価を行った1成分形ポリウレタン系シーリング材を除き、耐候劣化に伴う表面ひび割れ状態の評価を行う場合、国内の一般的な温暖地で評価を行えば耐候性に対する気象条件による影響は確認できるものと判断される。

式（9）から求めた各シーリング材の地域差比を表5-5及び図5-4に示す。

表5-5 各シーリング材の地域差比

種類	地域差比（R）		
	旭川	銚子	宮古島
SR-2	—	—	—
IB-2	0.7	1.0	0.5
MS-2（汎用）	0.8	1.0	1.0
MS-2（応緩）	0.8	1.0	0.9
MS-1	1.4	1.0	1.1
PS-2	1.2	1.0	1.1
PU-2	0.9	1.0	1.1
PU-1	0.4	1.0	2.1

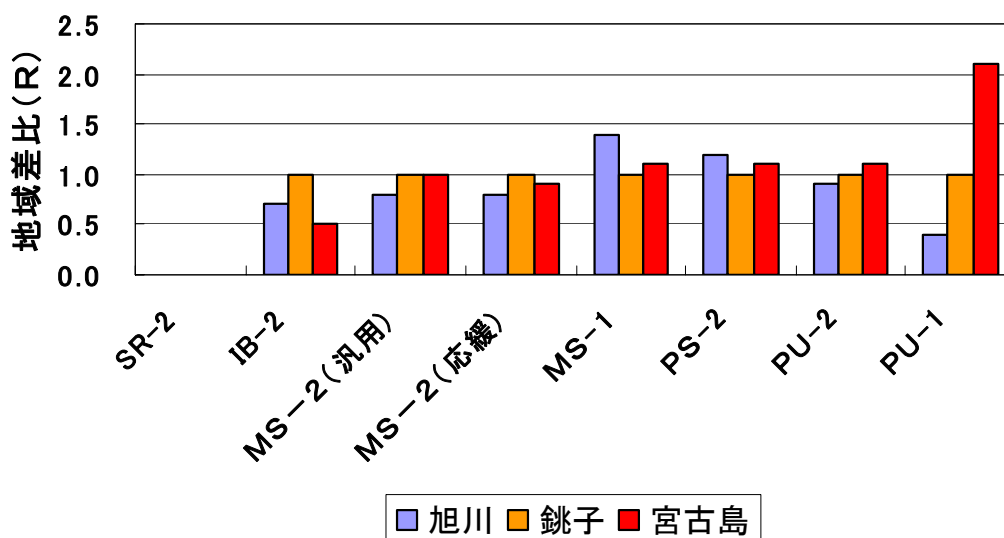


図5-4 各シーリング材の地域差比

5.4 暴露地におけるQS値実験式の設定

第3章式(5)で設定したQS値実験式を用い、5.3で得られた温暖地(銚子)を基準とした地域差比を適用することにより、各暴露地におけるQS値実験式を式(10)に、銚子におけるQS値実験式を表5-6に示す。

$$\begin{aligned}
 QS(\varepsilon \cdot t) &= R \times [\text{銚子におけるQS値実験式}] \\
 &= R \times \{(a \cdot t^b) \times (1 + c \cdot \varepsilon^d)\} \dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

- QS (ε・t) : tヶ月後、伸縮率ε%におけるQS値
- R : 地域差比
- t : 暴露期間 (月)
- ε : 伸縮率 (%)
- a、b、c、d : 各シーリング材毎の定数

暴露期間内に表面ひび割れを発生しない2成分形シリコン系シーリング材の定数項(a・c)は0となるが、その他のシーリング材は特定の定数値を示した。

表5-6 銚子における各シーリング材のQS値実験式

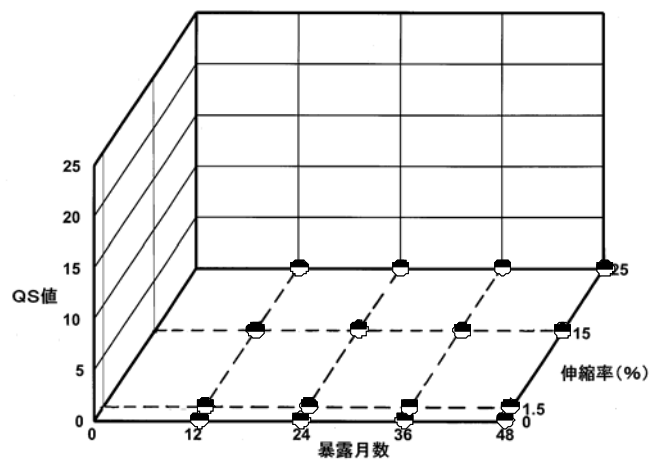
シーリング材	QS (ε・t) 算出式
SR-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0 \cdot t^{1.0}) \times (1 + 0 \cdot \varepsilon^{1.0})$
IB-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.04 \cdot t^{1.0}) \times (1 + 2.2 \cdot \varepsilon^{0.3})$
MS-2 (汎用)	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.006 \cdot t^{1.0}) \times (1 + 27.4 \cdot \varepsilon^{0.3})$
MS-2 (応緩)	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.04 \cdot t^{1.0}) \times (1 + 0.3 \cdot \varepsilon^{0.9})$
MS-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.006 \cdot t^{1.0}) \times (1 + 5.4 \cdot \varepsilon^{0.4})$
PS-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.4 \cdot t^{0.6}) \times (1 + 1.5 \cdot \varepsilon^{0.3})$
PU-2	$QS(\varepsilon \cdot t) = (1.3 \cdot t^{0.7}) \times (1 + 0.07 \cdot \varepsilon^{0.6})$
PU-1	$QS(\varepsilon \cdot t) = (0.2 \cdot t^{0.9}) \times (1 + 0.0003 \cdot \varepsilon^{2.2})$

5.5 QS値実験式の計算値と観測値の関係

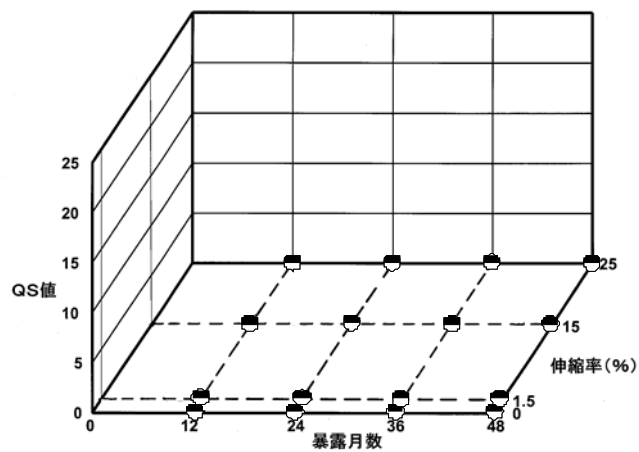
5.3の地域差比と5.4のQS値実験式より得られたQS値の計算値と実際の観測値の関係を図5-5-1~8示す。平曲面が表5-6に示す各シーリング材のQS値実験式より求めたQS値を示し、丸印が観測したQS値を示す。黒丸印(●)は計算値より観測値の方が高かった場合、白丸印(○)は観測値より計算値の方が高い場合を、また白/黒印(◐)は観測値と計算値が同一の場合を示す。

全体的に所定の暴露期間内のQS値実験式にもとづく計算値は観測値をよく表す結果となった。

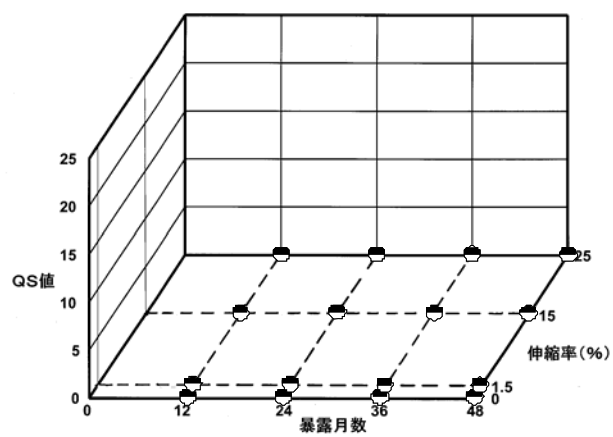
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



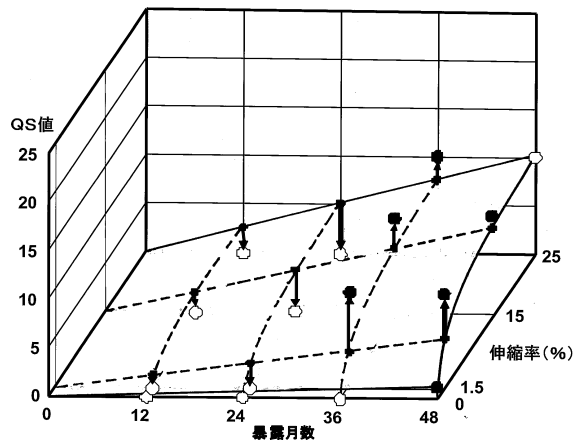
【亜熱帯(宮古島)】



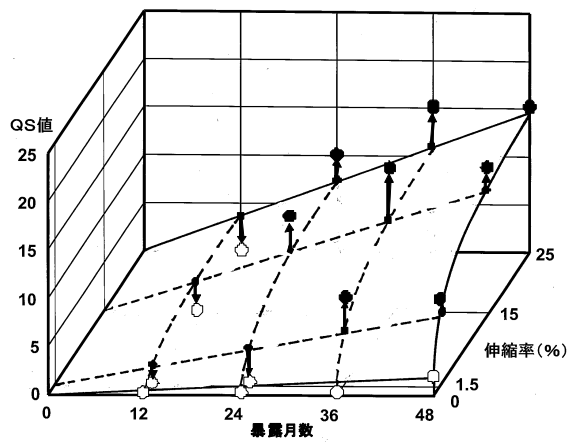
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 5-5-1 QS 値実験式と観測値の関係 [SR-2]

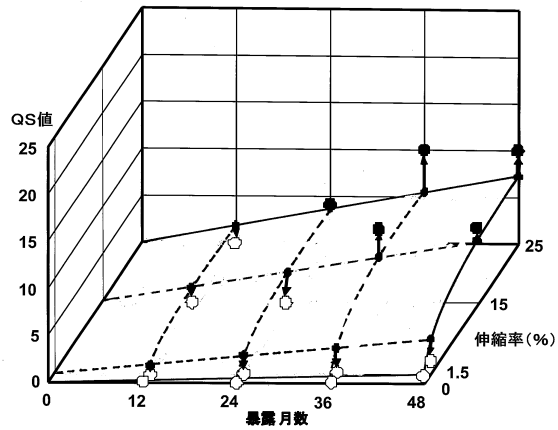
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



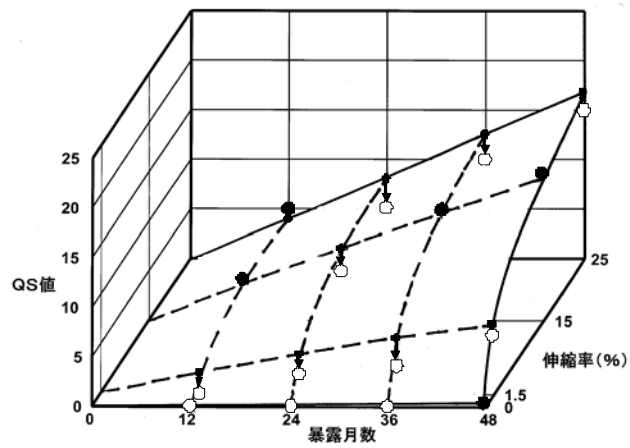
【亜熱帯(宮古島)】



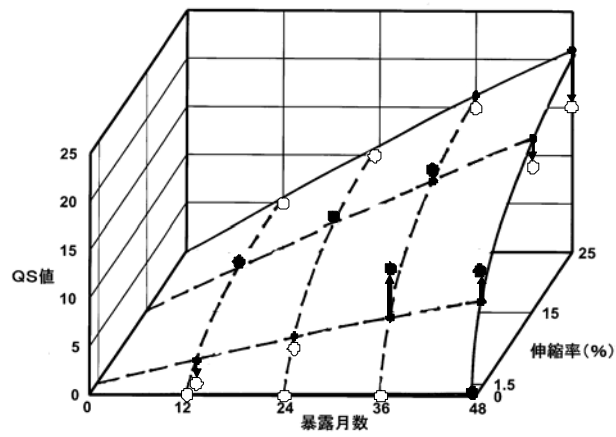
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地>計算値、○: 計算値>観測値、◐: 観測値=計算値

図 5-5-2 QS 値実験式と観測値の関係 [I B-2]

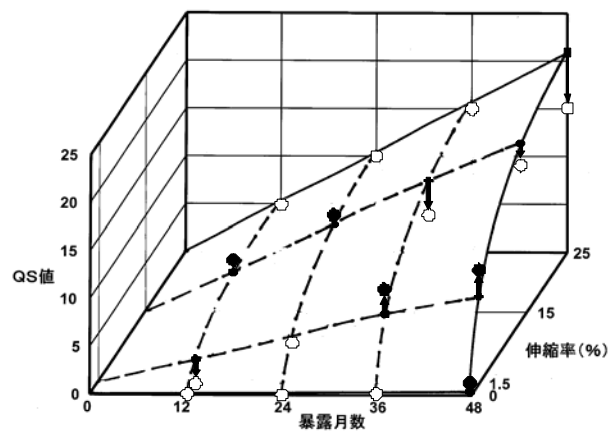
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



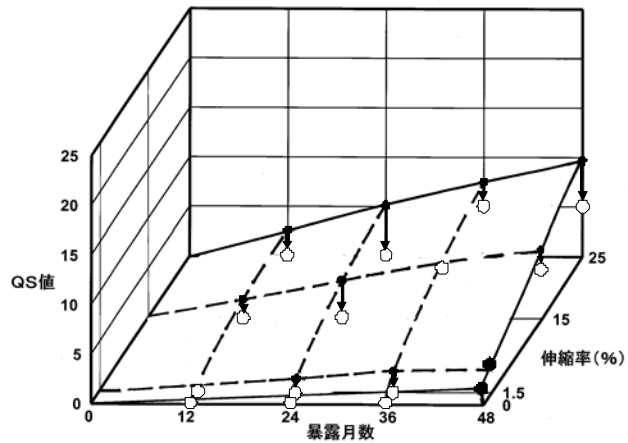
【亜熱帯(宮古島)】



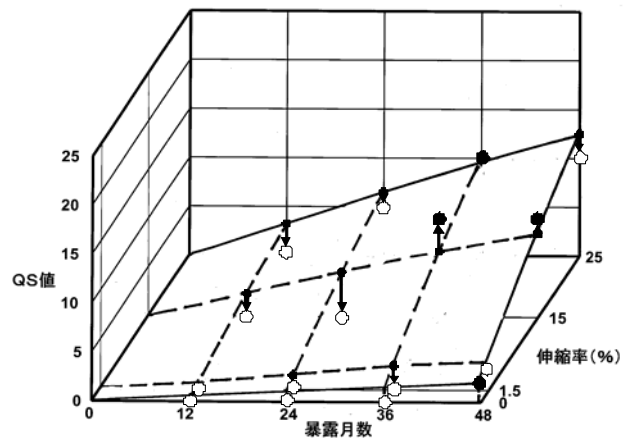
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地>計算値、○: 計算値>観測値、◐: 観測値=計算値

図 5-5-3 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-2 (汎用)]

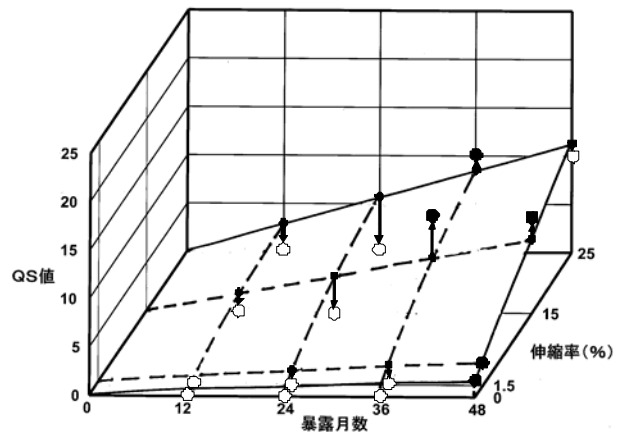
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



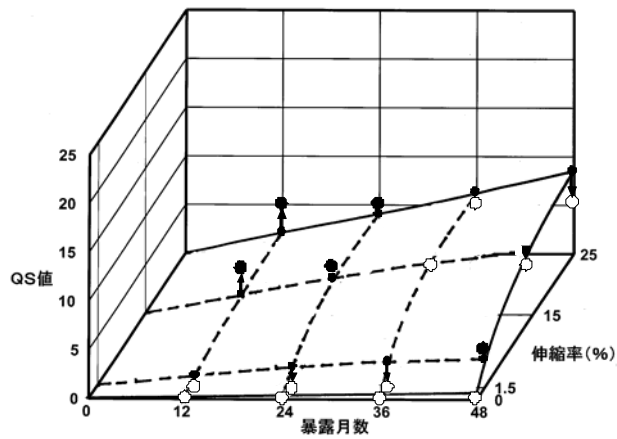
【亜熱帯(宮古島)】



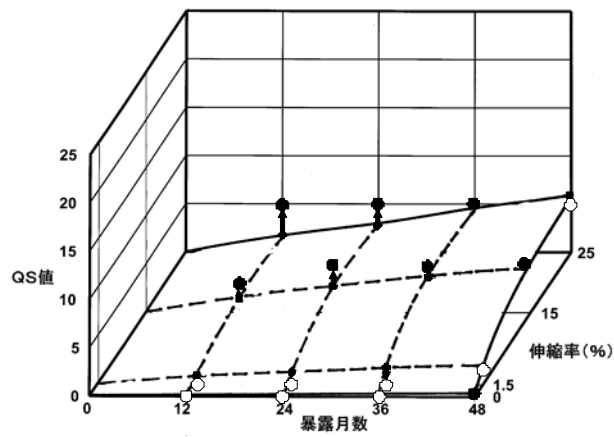
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地>計算値、○: 計算値>観測値、◐: 観測値=計算値

図 5-5-4 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-2 (応緩)]

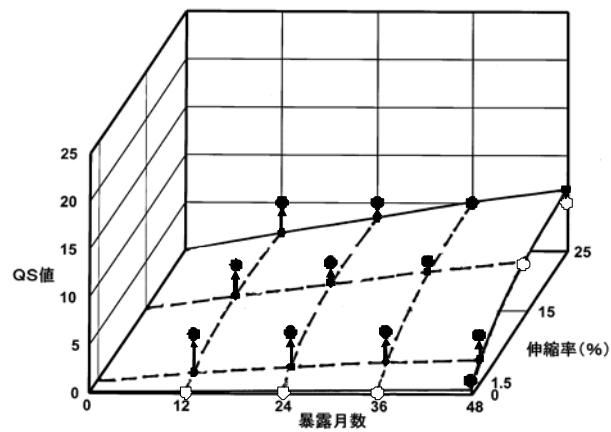
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



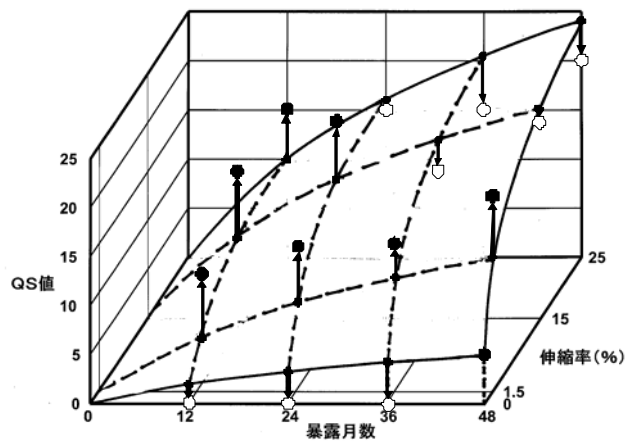
【亜熱帯(宮古島)】



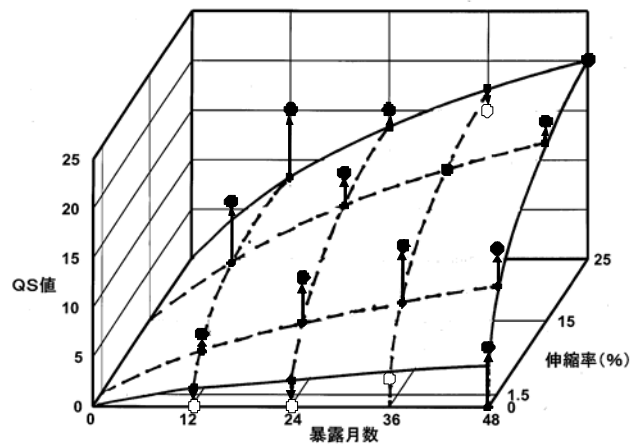
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、●: 観測値 = 計算値

図 5-5-5 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-1]

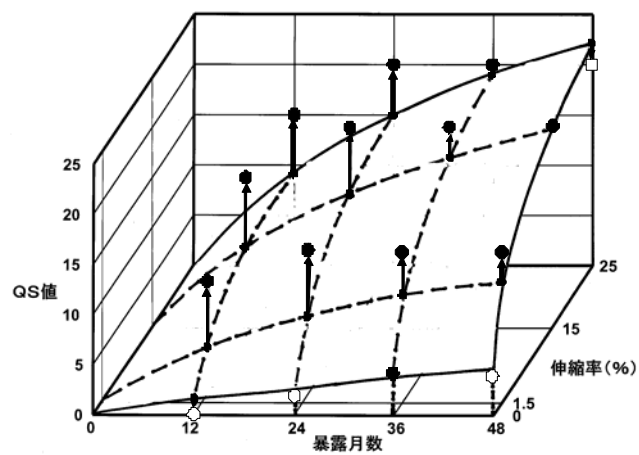
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



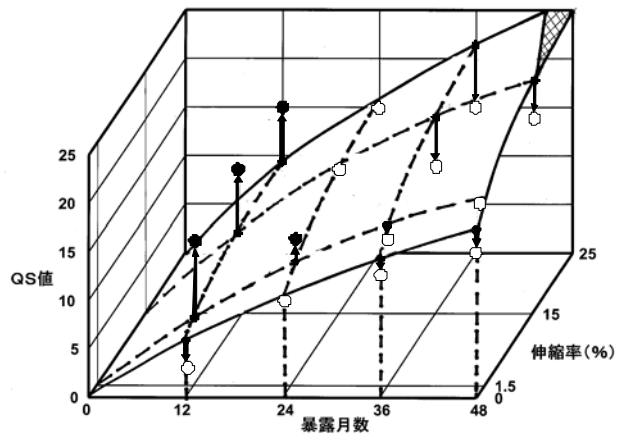
【亜熱帯(宮古島)】



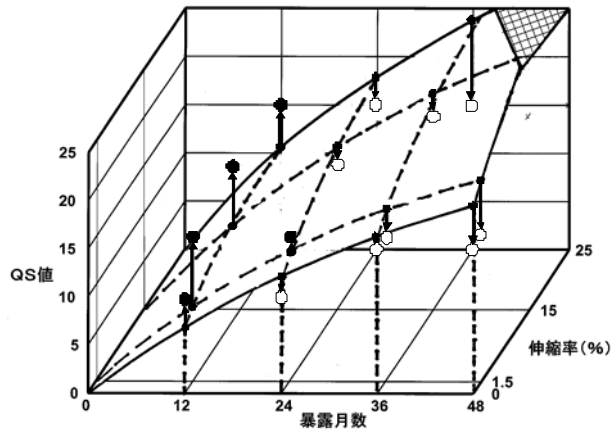
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、●: 観測値 = 計算値

図 5-5-6 QS 値実験式と観測値の関係 [P S-2]

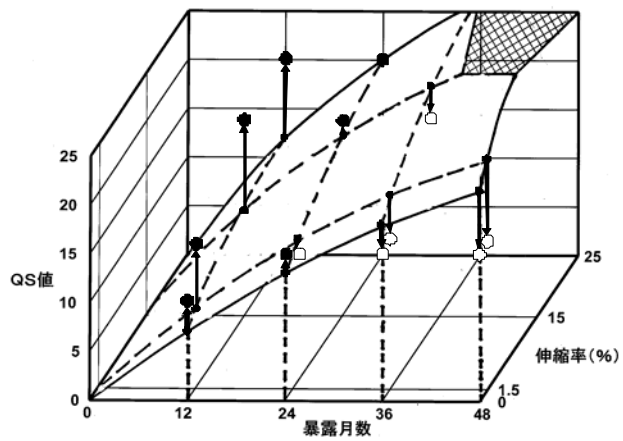
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



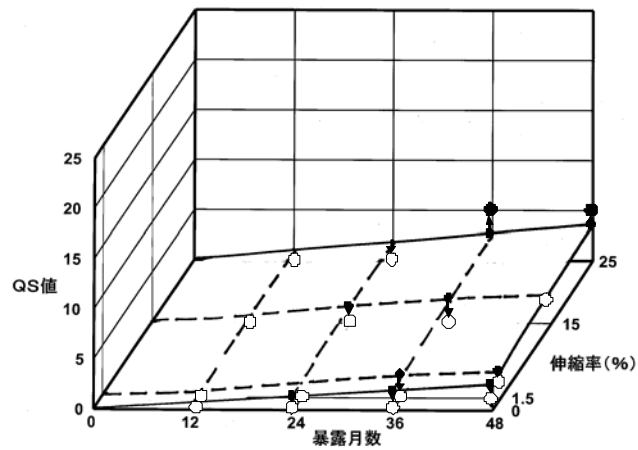
【亜熱帯(宮古島)】



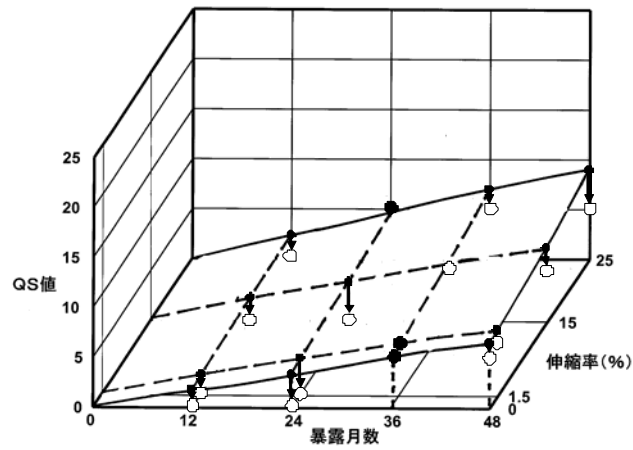
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値

図 5-5-7 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-2]

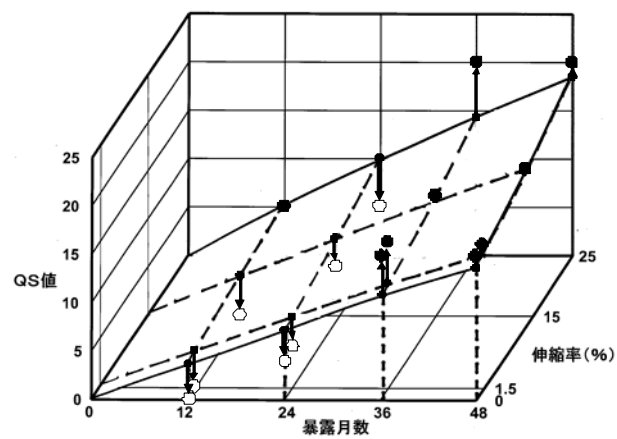
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



【亜熱帯(宮古島)】



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測地>計算値、○: 計算値>観測値、◐: 観測値=計算値

図 5-5-8 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-1]

5.6 まとめ

屋外暴露地域の影響に対する地域の影響を、表面ひび割れ状態を表すQS値を尺度としての検討により、以下の知見が得られた。

- 1) 温暖地(銚子)を基準とし、それに対する地域差比の概念を導入することにより、他地域の表面ひび割れ状態の尺度であるQS値の変化を表す関数式を提案することができた。
- 2) 地域を考慮したQS値実験式の計算値と屋外暴露における観測値の関係は、全体として試験期間内における劣化状態をよく表した。
- 3) 建築用シーリング材の耐候劣化に対する地域による気象条件の影響は、1成分形ポリウレタン系シーリング材は南方地域になるほど劣化の進行が認められたが、その他のシーリング材については地域による影響はさほど顕著ではないことが判明した。

第6章

耐候劣化にもとづく外観寿命の算定

6.1 はじめに

建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れに関し、地域的影響を地域差比の概念を導入したQS値実験式を提案し、試験期間内において計算値と観測値の間に良好な関係があることが確認できた。

今回提案したQS値実験式が暴露期間が延長された時点での適用性と、表面ひび割れが経年で進行し外観面より改修が必要と判断される経過年数を推定するため、シール専門家による表面ひび割れ状態に関する官能評価を行い、今回の研究より得られた知見をもとに外観的な寿命の算定式の提案を試みた。

6.2 QS値実験式の妥当性検証

① 目的

第5章でQS値を表面ひび割れの尺度として、暴露期間及び目地に作用する伸縮率を変数としたQS値実験式を提案した。当QS値実験式が暴露期間が延長されても適用できるか否かを第5章で実施した屋外暴露試験6.6年後の観測QS値と実験式の関係を確認することを目的とした。暴露期間4年間の結果から得られたQS値実験式の、暴露期間を延長したモデルを図6-1に示す。

図6-1の6.6年後の時点での観測QS値をプロットし、QS値実験式の暴露期間が延長された場合の妥当性判断を行う。

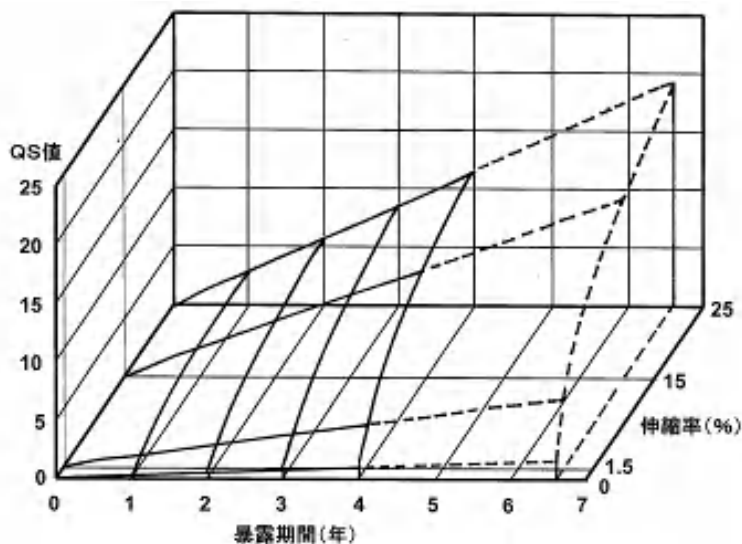


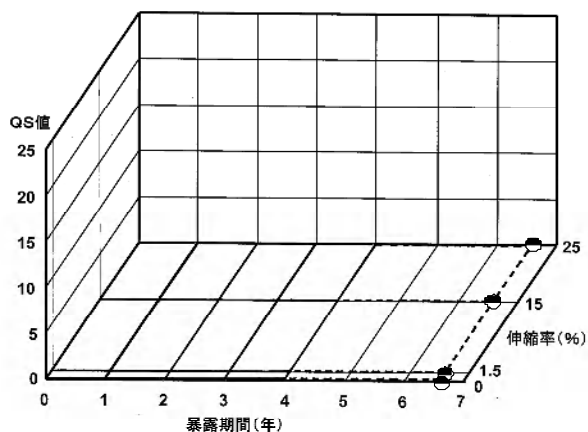
図6-1 QS値実験式の暴露期間延長のモデル

② 試験結果

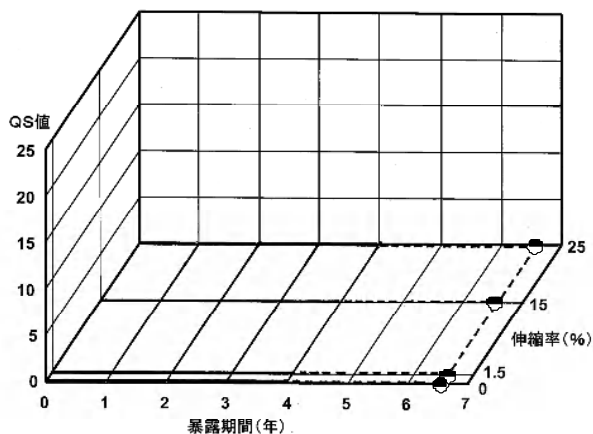
寒冷地（旭川）・温暖地（銚子）及び亜熱帯（宮古島）での屋外暴露6.6年後の試験体の表面ひび割れ状態について、第5章と同様に各シーリング材のQS値を観測した。

図6-2-1～8にQS値計算値と観測値を示すが、グラフ中で赤色の☆印はシーリング材表面に黴類が付着して観測が不可能や、シーリング材の動的疲労にもとづく凝集破壊等が発生したため所定の伸縮状態が保持できなかったことを示す。これらの現象は試験方法の問題ではなく、該当シーリング材の特性に起因する。

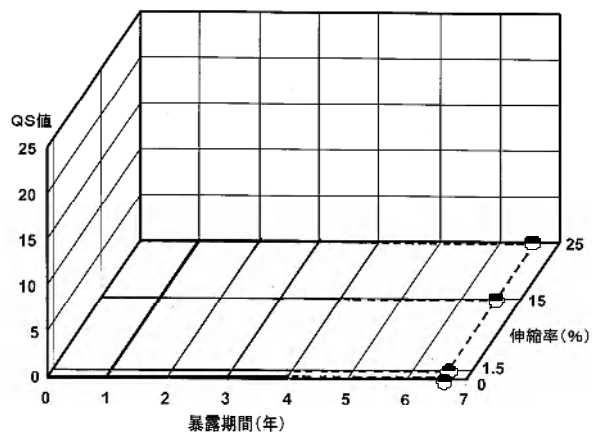
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



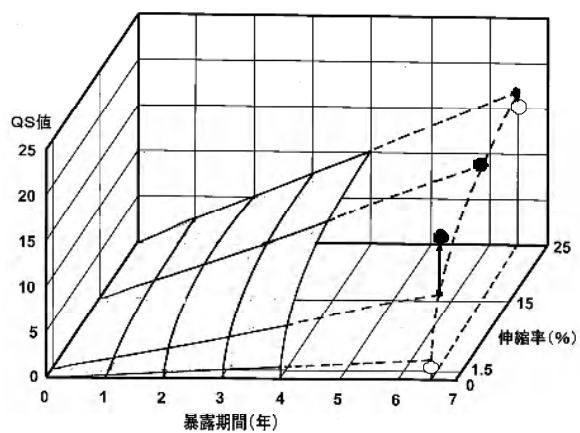
【亜熱帯(宮古島)】



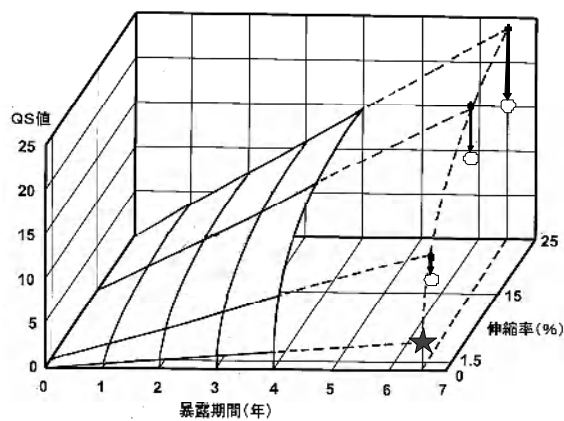
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
 3) ★: 観測不可 (剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-1 QS 値実験式と観測値の関係 [SR-2]

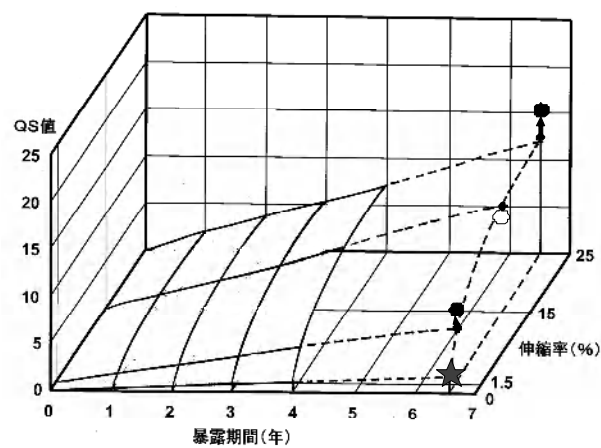
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



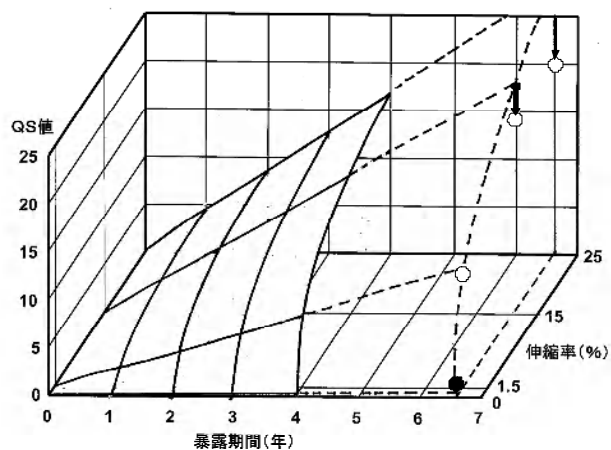
【亜熱帯(宮古島)】



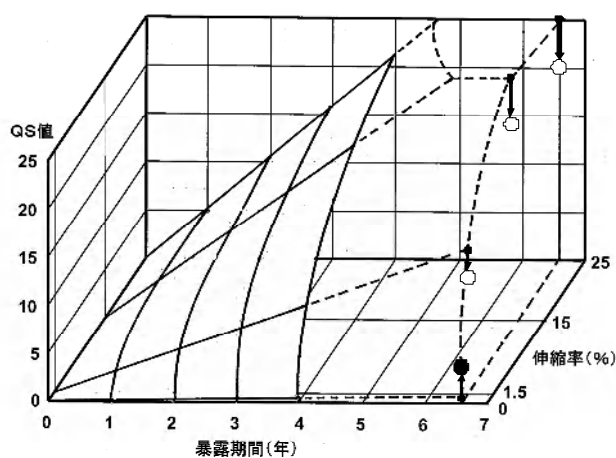
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐ : 観測値 = 計算値
 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-2 QS 値実験式と観測値の関係 [I B - 2]

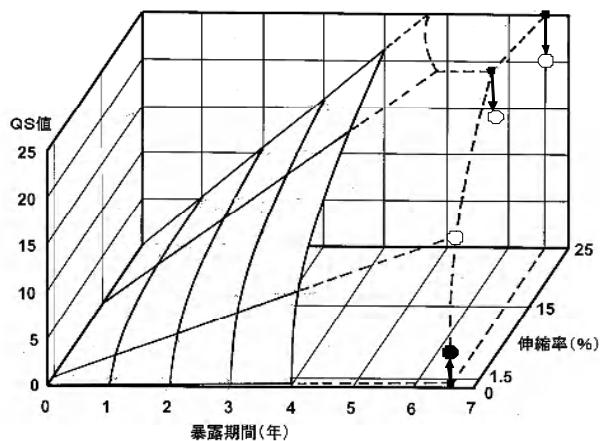
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】

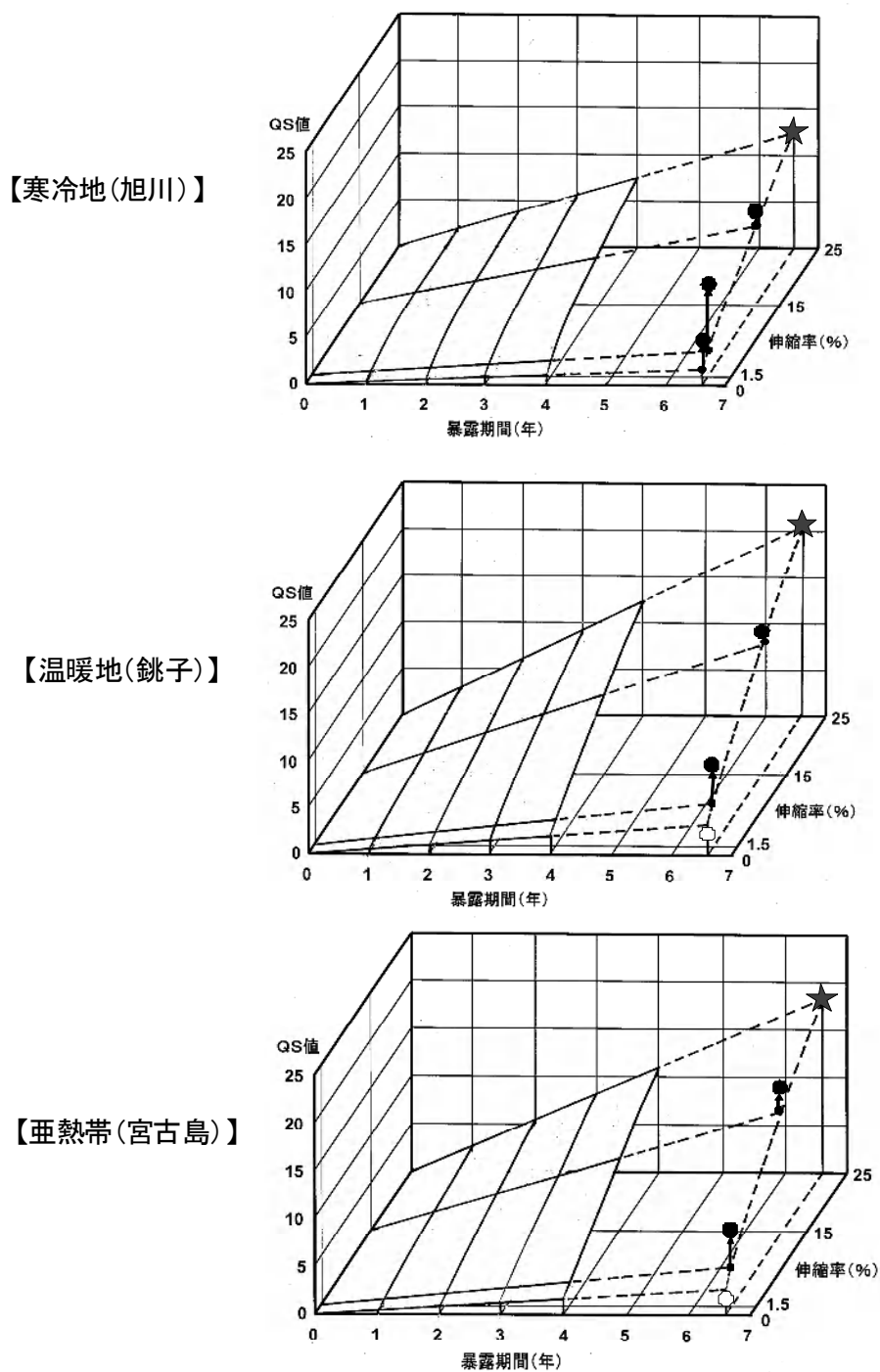


【亜熱帯(宮古島)】



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
- 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

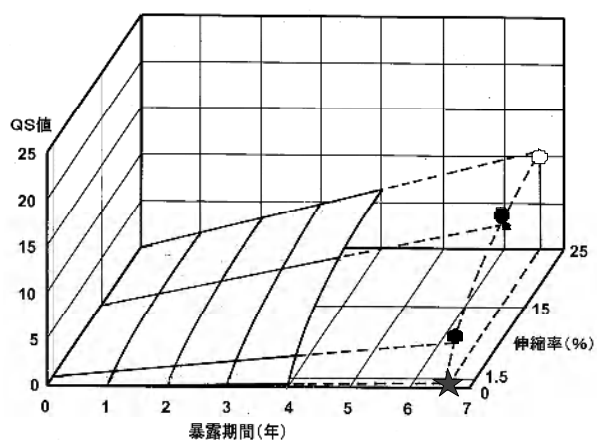
図 6-2-3 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-2 (汎用)]



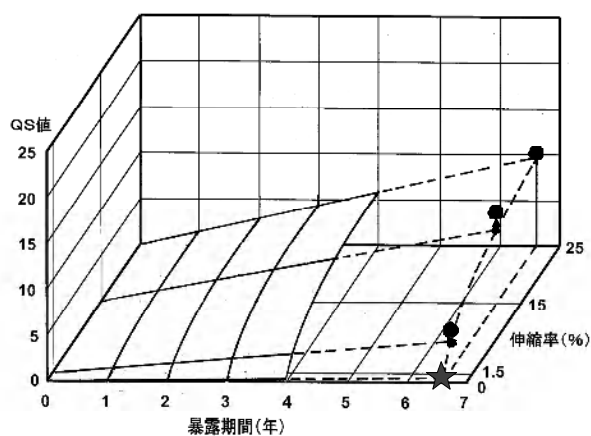
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-4 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-2 (応緩)]

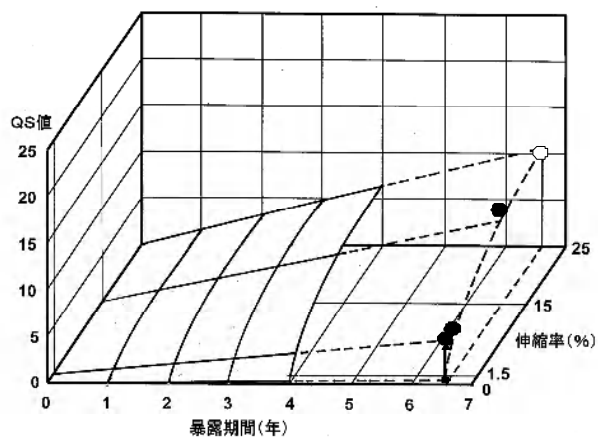
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】

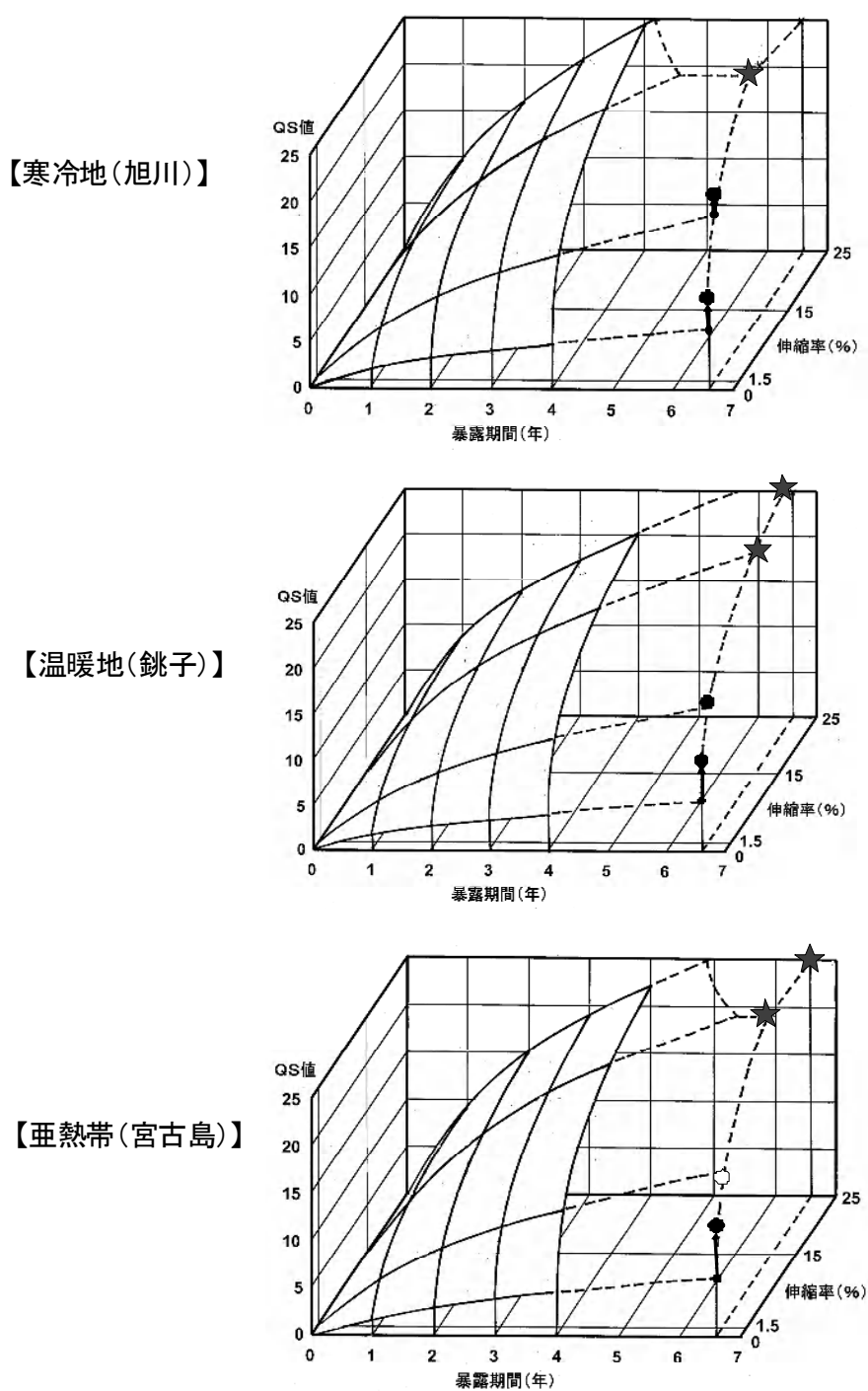


【亜熱帯(宮古島)】



- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、●: 観測値 = 計算値
- 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

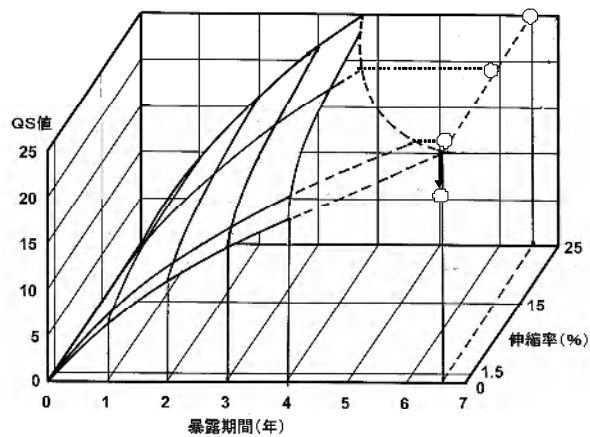
図 6-2-5 QS 値実験式と観測値の関係 [MS-1]



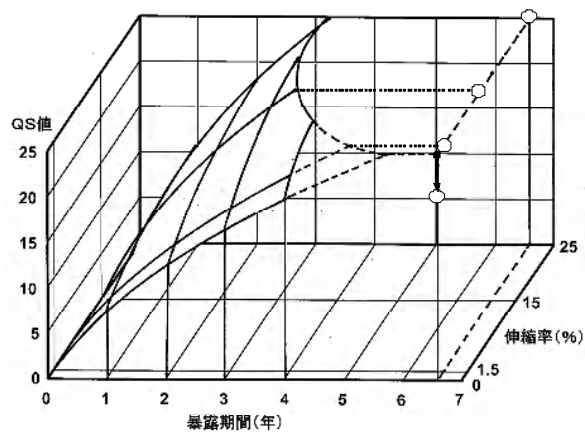
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-6 QS 値実験式と観測値の関係 [P S - 2]

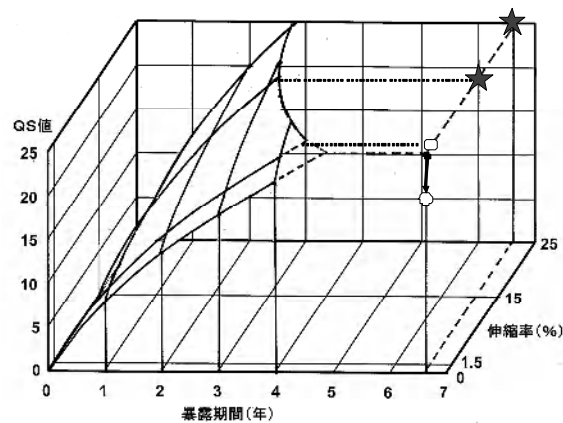
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



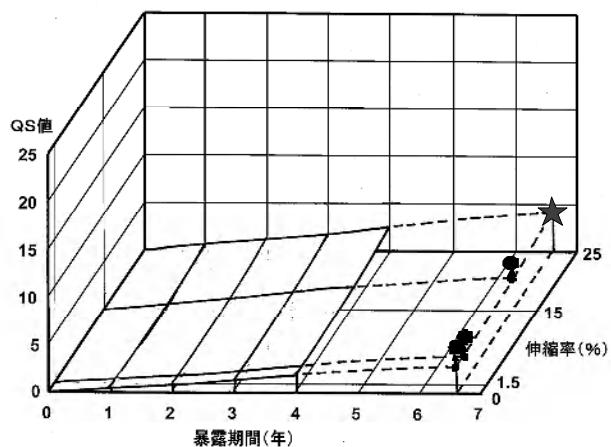
【亜熱帯(宮古島)】



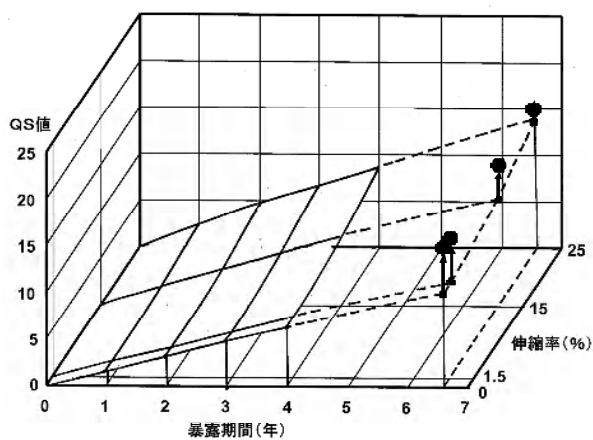
- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
- 2) ●: 観測値 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
- 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-7 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-2]

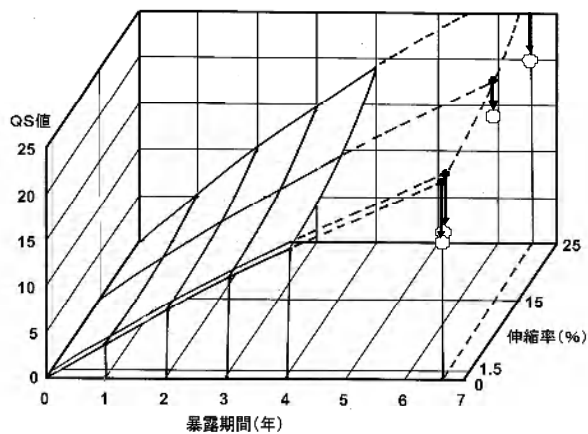
【寒冷地(旭川)】



【温暖地(銚子)】



【亜熱帯(宮古島)】

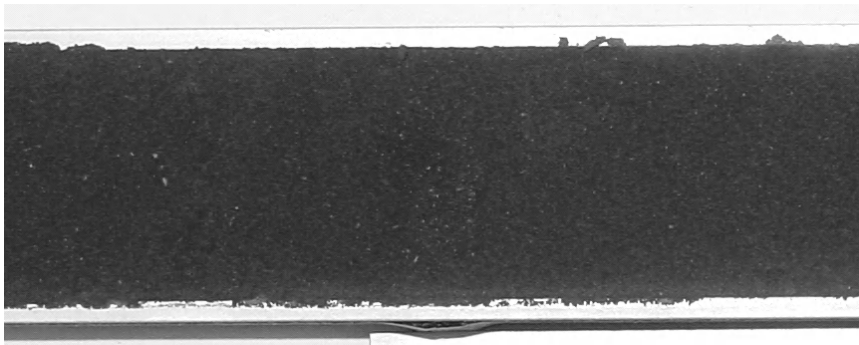


- 1) 曲平面が計算値を、丸印が観測値を表す。
 2) ●: 観測地 > 計算値、○: 計算値 > 観測値、◐: 観測値 = 計算値
 3) ★: 観測不可(剥離、破断、カビ付着等)

図 6-2-8 QS 値実験式と観測値の関係 [PU-1]

図6-2中に示した、★印の例を写真6-1に示す。上段の写真はシーリング材の表面に黒色の黴が全面に付着し表面ひび割れ状態を観測できず、また下段の写真はシーリング材の凝集破壊が発生し、所定の伸縮率を保持できなくなったためQS値の観測が不可となった。

【カビによる表面被覆】



【動的疲労によるシーリング材の凝集破壊】

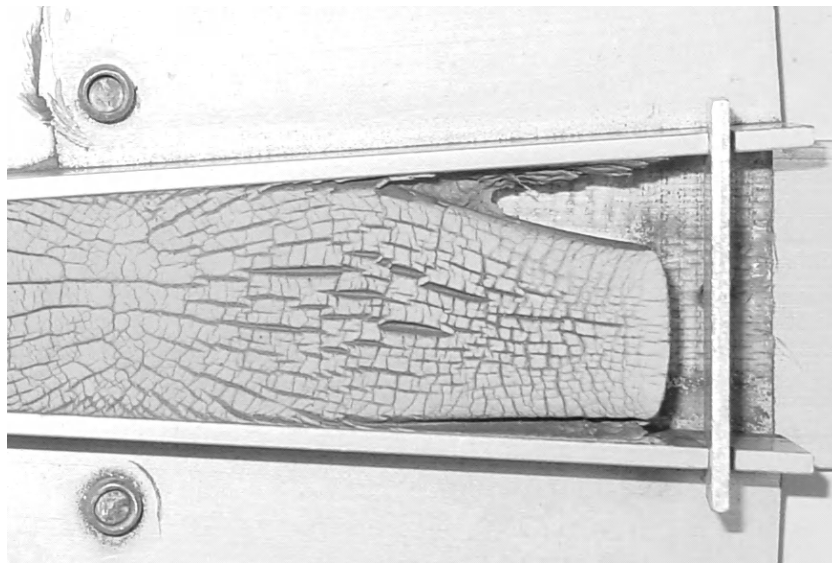


写真6-1 QS値観測不可の例

6.3 外観限界寿命の設定

①表面ひび割れ状態に関する専門家による官能評価

QS値が異なる写真6-2に示す表面ひび割れサンプルを作製し、外観面より改修が必要となる下限QS値(図6-3)の判定を、表6-1に示す内容にてシーリング専門家(シーリング材メーカー・GC仕上材担当技術者・シーリング施工店等)に対し官能評価を実施した。



写真 6-2 官能評価用サンプル

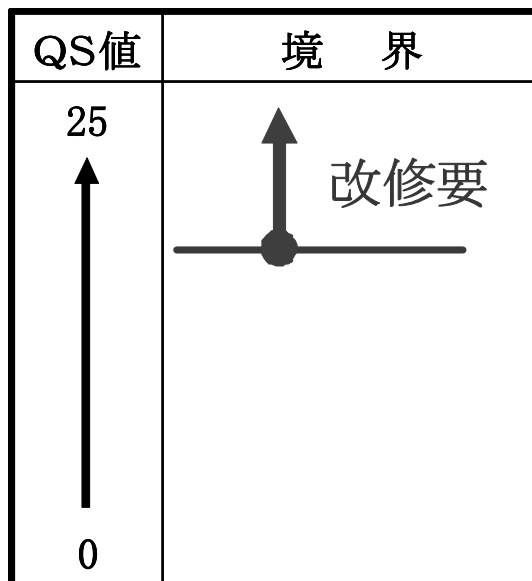


図 6-3 改修が必要なQS値の境界

表 6-1 官能評価の条件

項 目	条 件
判定項目	改修が必要なQS値の下限值
パネラー	72名(メーカー:48名、GC:14名、施工業者:10名)
判定環境	室内(昼間・蛍光灯照明下)

②官能評価結果

シーリング専門家に対する改修工事が必要と考える下限QS値の官能評価結果を表6-2及び図6-4に示す。

評価結果は個人的な感覚や社会背景等により異なると考えられるが、結果はQS値20以上が改修対象との回答が最も多く、以降の検討はQS値20を改修対象の下限値と仮定した。

表6-2 改修必要とするQS値下限値回答結果

職種	下限QS値					
	0	5	10	15	20	25
メーカー	0	0	1	14	30	3
GC	0	0	0	3	8	2
施工業者	0	0	0	5	5	0
合計	0	0	1	22	43	5

注) 数値：人数

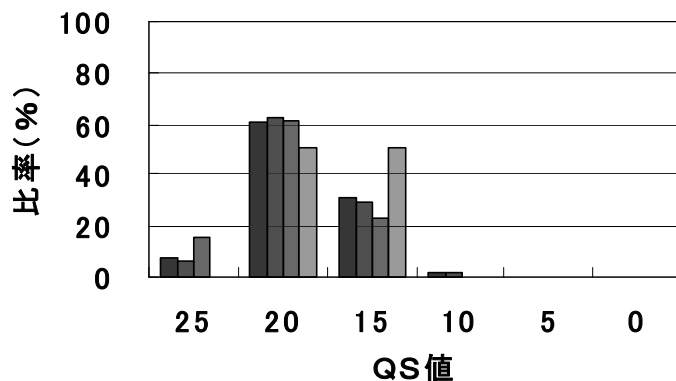


図6-4 改修が必要な下限QS値

6.4 外観寿命算定式の提案

第5章の式(9)で提案したQS値算定式を変換し、改修が必要なQS値・地域差比及び対象とする目地の伸縮率を用いることで改修が必要な年数が求められる算定式(11)を設定した。

$$T = \left[e^{\{QS_{SL} / R \times a \times (1 + c \times \varepsilon^d)\} / b} \right] / 12 \quad \dots \dots (11)$$

T : 改修必要年 (年)

QS_{SL} : 改修が必要なQS値

R : 地域差比

ε : 伸縮率 (%)

a、b、c、d : シーリング材毎の定数

6.5 外観寿命の推定

式(11)を用い改修が必要な下限QS値を20と仮定した場合の各シーリング材の伸縮率毎の外観寿命年数を図6-5に示す。

表面ひび割れ状態を表すQS値実験式で定数項(a・c)が0であった2成分形シリコーン系シーリング材の改修必要年数は無限となったが、それ以外のシーリング材は第5章での地域差比にもとづき各伸縮率毎に改修必要年数を示した。

しかし、伸縮率が±0%において2成分形変成シリコーン系(汎用タイプ)及び1成分形変成シリコーン系シーリング材は極端に長い改修必要年数を示し、目地幅可変型試験体との差は極端な結果となった。

MS-2(汎用)及びMS-1については伸縮率±0%での外観寿命が極端に長くなったため、実際の目地での状況を考慮し目地幅可変型試験体(最小伸縮率:±1.5%)での結果を図6-6に示す。

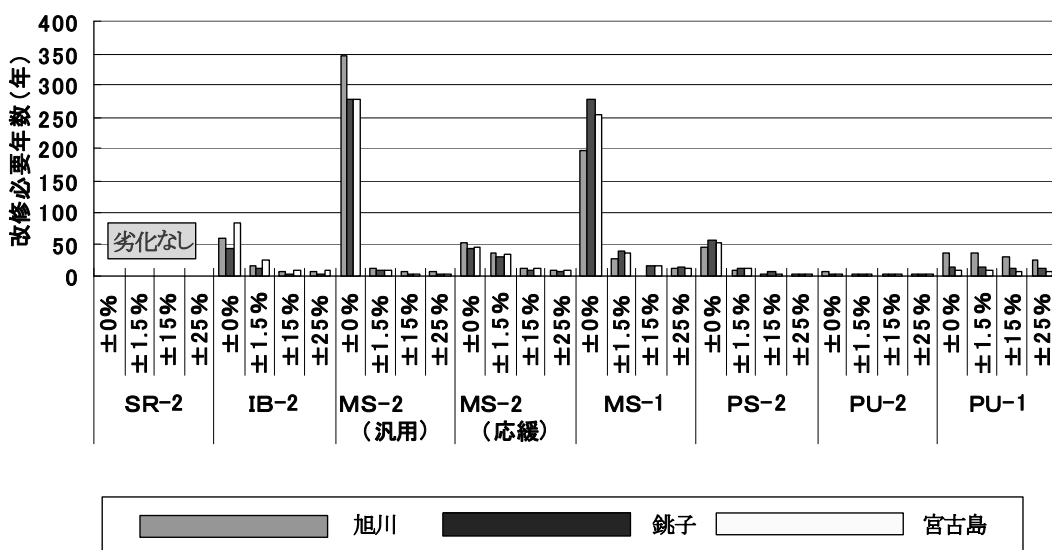


図6-5 改修必要年数(下限QS値を20と仮定)

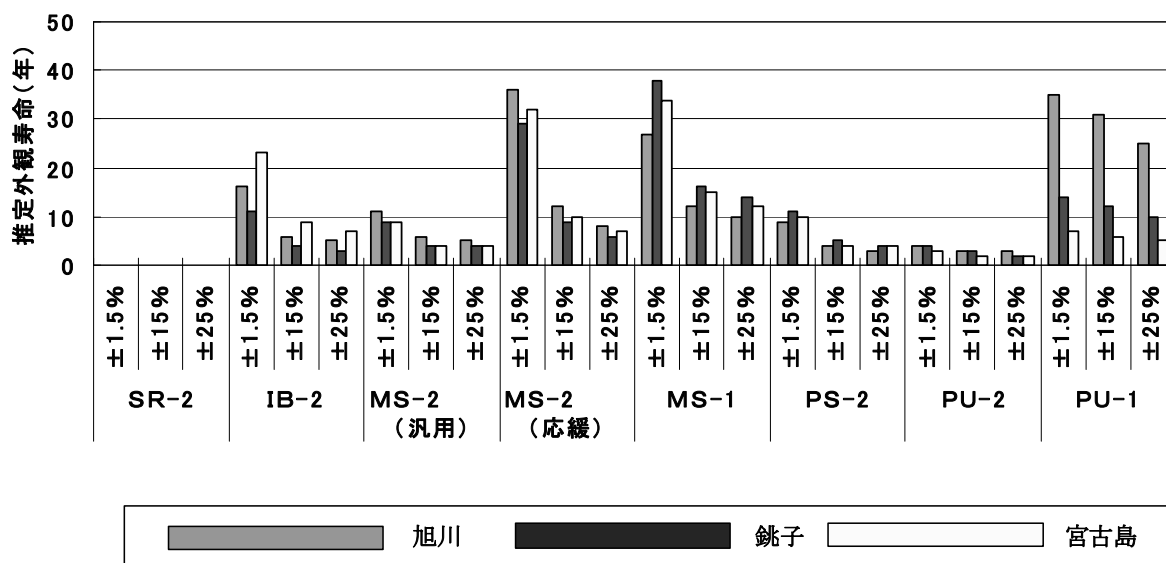


図 6-6 改修必要年数 (最小伸縮率 : ±1.5%)

6.6 表面ひび割れ状態の屋外暴露試験と実建物における劣化状態の関係

① 目的

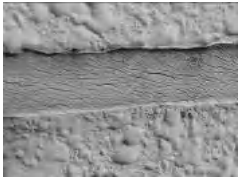
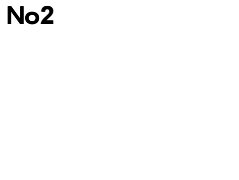

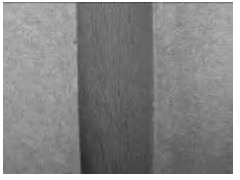
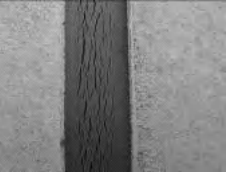
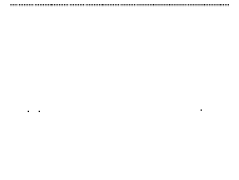
外観寿命算定式の妥当性を検証するため、第3章で山梨県南アルプス市にて実施した試験結果より得られたQS値実験式と実際の建物の目地にシールされたシーリング材の表面ひび割れ状態の関係確認を行った。

シーリング材種類としては屋外暴露試験に使用した2成分形変成シリコン系シーリング材（汎用）とし、同シーリング材は屋外暴露試験を行った同一敷地内の建物にも適用され、施工履歴も明確なため選定した。

② 実建物におけるひび割れ状況と適用条件

実建物における対象シーリング材は押出成形セメント板目地及び波形スレート板目地で、最大17年間が経過している。また、観測したQS値の他に耐候劣化条件として、観察したシーリング材の経過年数・方位及び構成部材の種類と寸法から発生伸縮率を推定した。なお、推定伸縮率は部材の固定による伸縮の低減は考慮していないため、実際に発生する伸縮量は少なくなるものと推察される。表6-3に対象とした目地の表面状態及び適用条件を示す。

表 6-3 ひび割れ状態と適用条件

表面状態	No1 	No2 	No3 	
	QS値	15	15	6
	経過年数	10年	16年	16年
	伸縮率(%)	4	6	2
	方位	西面(1F)	西面(1F)	西面(1F)
表面状態	No4 	No5 	No6 	
	QS値	15	15	25
	経過年数	17年	17年	17年
	伸縮率(%)	4	6	6
	方位	東面(屋上)	西面(屋上)	南面(屋上塔屋)

注) No1~3:押出成形セメント板、No. 4~6:波形スレート板

③外挿QS値実験式と実建物でのQS値の関係

第3章の表3-5に示された2成分形変成シリコン系（汎用）のQS実験式を用い、実建物でのシーリング材最大経過年数が17年のため、QS値実験式を20年まで延長し、実建物における観測QS値をプロットし計算値との関係を確認した。

図6-7に計算値と観測値の関係を示す。

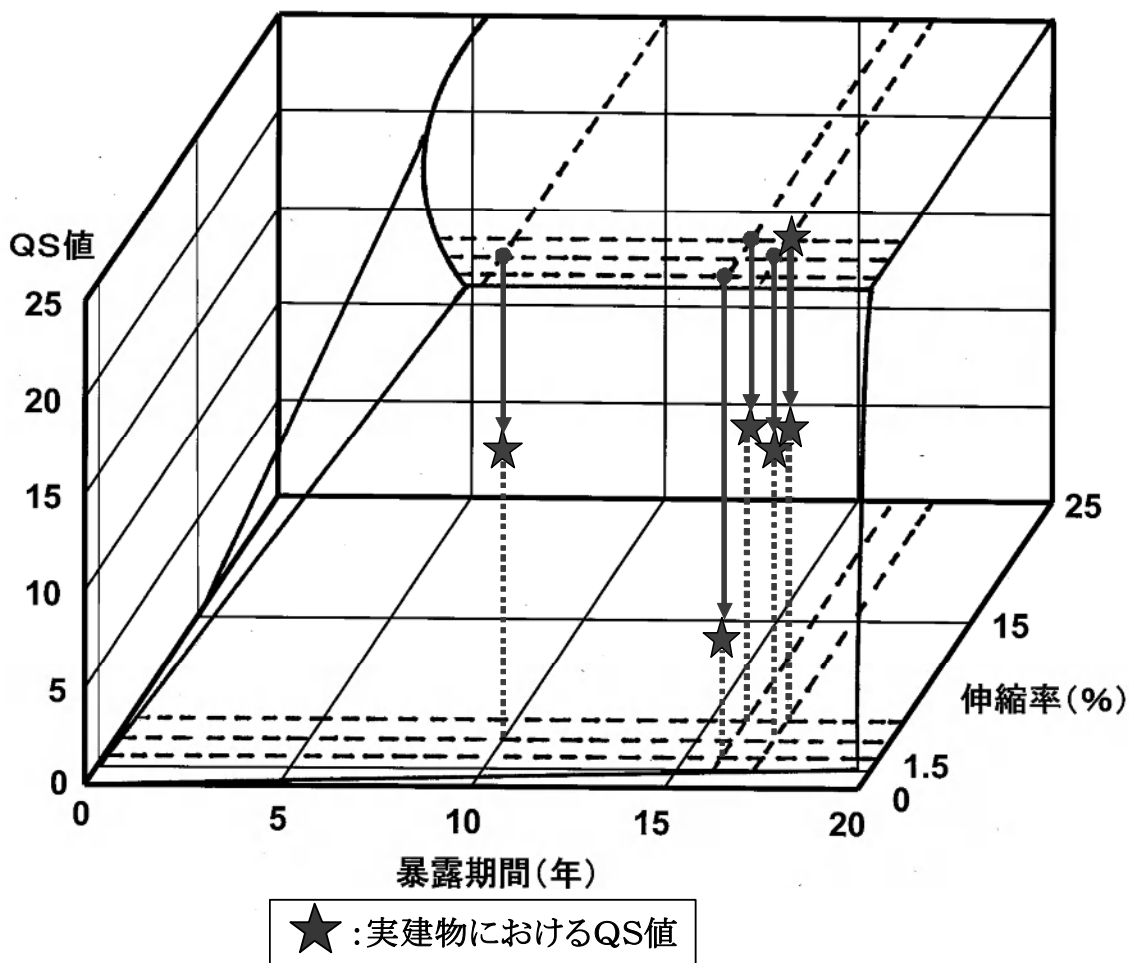


図6-7 外挿QS値実験式と観測値の関係

④結果の概要

屋外暴露試験と実建物に使用された同一シーリング材の表面ひび割れ状態を比較した結果、屋外暴露試験に比べ実建物におけるQS値は低くなる傾向を示した。これは部材取り付けによる伸縮量の拘束、隣接建物による日射量の減少やシーリング材に対する雨がかり量が少なくなることなどが原因と推察される。

6.7 まとめ

屋外暴露試験より設定した表面ひび割れ状態の尺度としてのQS値算定式の妥当性及び改修を目的とした外観寿命算定式を検討した結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 4年間の屋外暴露試験結果をもとに設定したQS値実験式を6.6年後まで外挿したところ、良好な計算値と観測値の関係を示した。

このことより、目地幅可変型試験体を用い屋外暴露試験を4年程度行うことにより、建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れ状態の進行予測が可能と判断できた。

- 2) 外観面より改修が必要となるQS値を設定することで、改修が必要な年数算定式を提案することができた。

しかし、当研究で実施した屋外暴露試験はJIS³⁴⁾もとづく規定で行っており、暴露方向は南側で、かつ降水の影響をシーリング材全体で受け、かつ目地には所定の伸縮量が確実に付与される条件で行われている。

従って実際の建物の目地では隣接する建物等により日射量が低減されたり、屋上の笠木部を除き通常の日地は垂直状態であるため雨掛り量の低減、かつ目地に発生する伸縮も目地を構成する部材の固定による拘束もあり、実際には6.4で示した外観寿命より延びるものと予想される。

第 7 章

結 論

本研究では、建築用シーリング材の耐候劣化に伴う表面ひび割れに関し、新たな試験体及びひび割れ状態を判定する尺度と提案した。この新規試験方法により表面ひび割れ変化を定量化かつ数式化を提案し、表面ひび割れに対する地域的因子についても定量化を行った。

また、得られた表面ひび割れ状態変化の数式から、建築用シーリング材の外観面よりの寿命推定式を提案した。

各章で得られた知見は以下の通りである。

「第1章 序論」では、建築用シーリング材の必要性能と過去の耐候性に係わる既往研究の概要について述べた。

既往研究の調査から建築用シーリング材の耐候劣化評価において、動的要因の重要性・屋外暴露試験機の大型化及び表面ひび割れの判定が定性的である等の課題点を明らかにした。

「第2章 新しい試験方法の提案」では、現在の建築用シーリング材の耐候性評価の課題を解決するため新たな試験方法について検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 実際の目地に作用する伸縮状態が再現できるよう、一对のL形アルミ板で目地を形成し中央部を回転軸で固定することにより、端部に引張変形を加えると他端部が圧縮変形状態となる目地幅可変型試験体を考案することができた。

この試験体は±30%までの連続的な伸縮状態を一つの試験体で得ることができ、かつ小型であるため屋外暴露及び促進暴露とも各種条件において評価ができる利点を有する。

- 2) 従来の表面ひび割れ状態の判定は定性的な尺度で行われていたが、塗料のISO規格で規定されている数値化されている表面クラックの量(Q)及び大きさ(S)の各数値を掛け合わせることで、QS値という表面ひび割れ状態を表す尺度として提案した。

QS値はデジタル写真での二値化による解析で実際の表面クラック面積割合と相関上、新たな判定尺度として用いても問題ない結果を得た。

- 3) 新たに提案した目地幅可変型試験体の変形の形態は、実際の目地に発生する伸縮状態とは異なる。そのため変形方向及び隣接部位からの影響を試験した結果、いずれも有意性はなく試験体として問題ないことが確認できた。

- 4) 実際の目地の温度変化に伴う伸縮は基本的に毎日発生するが、伸縮付与頻度と表面ひび割れ状態変化を試験した結果、1回/月以上の頻度で試験を行えば7回/週(毎日)とほぼ同等となることが判明した、

「第3章 耐候劣化状態変化の定量化」では、山梨県南アルプス市での屋外暴露試験により

暴露期間及び発生する伸縮率を変数とした場合のQ S値変化の数式化を検討し、以下の知見が得られた。

- 1) 屋外暴露試験の結果より表面ひび割れ尺度のQ S値は、静的状態では暴露期間の進行により増加することが、また伸縮変形量の増加に伴い静的状態に対し表面劣化が進行することが認められた。
- 2) Q S値は暴露期間及び伸縮率を変数とした三次元で変化することをモデル化し、静的状態でのQ S値変化及び伸縮率により劣化の促進倍率をべき乗関数化することにより、Q S値の数式化を提案した。
- 3) 試験を行った各シーリング材のQ S値式を設定し、暴露期間内における計算値と観測値は良好な関係であることを確認した。

「第4章 屋外暴露に対する促進暴露の関係」では、通常行われている促進暴露試験と屋外暴露試験の関係についてQ S値を尺度として解析を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 屋外暴露試験結果を基準とし、現在国際的にも標準化されている促進暴露光源としてキセノンアークランプ (XWOM)、オープンフレム・カーボンアークランプ (SWOM) 及びUV蛍光ランプ (UV) の3光源の屋外暴露試験に対する劣化促進倍率の数値化を提案した。
- 2) 促進暴露光源による促進倍率の概要はSWOM > XWOM ≧ UVの順となり、また同じ光源でもシーリング材種類により促進倍率は異なり、かつ2成分形ポリイソブチレン系シーリング材は屋外暴露よりも促進暴露の方が劣化促進が遅くなる結果となり、促進暴露のみで耐候性を判断することは危険性を含むことを示唆した。従って、建築用シーリング材の耐候性評価については屋外暴露試験による評価が不可欠であることが判明した。
- 3) 促進暴露光源の促進倍率を用い屋外暴露の結果を基準に光源によるQ S値実験式を提案し、計算値と観測値は良好な関係があることを確認した。

「第5章 耐候に対する地域因子の影響」では、国内三個所で地域因子の定量化を行うことを目的として屋外暴露試験を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 各地域におけるQ S値観測結果から、温暖地（銚子）を基準としたQ S値の比率から地域差比算定式を提案した。
- 2) 耐候劣化に対する地域差比からみた地域の影響は、一般的に南方地域の方が日射量・降雨量及び気温の関係より耐候劣化の進行が早いとされているが、1成分形ポリウレタン系シーリング材を除き地域因子の影響は左程顕著でない結果を示した。

- 3) 地域差比を用い温暖地（銚子）での試験結果を基準に地域によるQ S値実験式を提案し、計算値と観測値は良好な関係があることを確認した。

「第6章 耐候劣化にもとづく外観寿命の算定」では、得られたQ S値実験式をもとに建築用シーリング材の表面ひび割れ状態程度から改修が必要なるQ S値を官能評価により調査かつ外観寿命算定式の検討を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 4年間の屋外暴露試験結果より得られたQ S値実験式が6.6年後の屋外暴露試験結果にも適用できるか確認した結果、計算値及び観測値は良好な関係があることを確認した。ただし、6.6年間の屋外暴露においてシーリング材表面に黴が付着したり、動的疲労にもとづく試験体の接着界面付近で凝集破壊を起こし所定の伸縮状態を得られないものも認められ、これらの試験体では表面ひび割れ状態の観測が不可能となった。これらの現象は試験方法ではなく、評価シーリング材固有の特性に起因する。
- 2) 建築用シーリング材の表面ひび割れ状態サンプルを用い、シーリング材メーカー/建設会社仕上材技術者/シーリング施工店等の専門家に改修対象となるQ S値下限の調査を行った結果、Q S値20が改修対象となる回答が一番多くなった。なお、この改修対象下限Q S値は社会の経済情勢や職種により変動することも考慮しておく必要があるものと考えられる。
- 3) 第5章で得られたQ S値実験式を変換し、改修対象下限Q S値・地域差比及び設定伸縮率を変数とした外観寿命算定式を提案した。2成分形シリコン系シーリング材を除き、各シーリング材は推定外観寿命を示したが、2成分形変成シリコン系シーリング材（汎用）及び1成分形変成シリコン系シーリング材の伸縮率±0%における推定外寿命は他の伸縮率に比べ極端に永くなった。
- 4) 屋外暴露試験により外観寿命の推定は可能となったが、当研究はJ I Sに規定された条件にもとづき行われ、かつ所定の伸縮量を確実に付与しているため、耐候劣化については実建物のシーリング目地よりも厳しい条件と言える。

従って、実建物の立地及び環境条件を考慮した、実際の目地での表面ひび割れ状態の観測が外観寿命の判定の基本と考える。

建築用シーリング材の耐候性に関する当研究において、既往研究での以下の指摘事項を試験結果より再確認することができた。

- I 耐候性評価にはムーブメントを考慮した評価が不可欠である。
- II 促進暴露のみで耐候性は判断できず、屋外暴露との関係把握が重要である。

[付帶資料]

参 考 文 献

〔参考文献〕

- 1) 建築用シーリング材－基礎と正しい使い方－；日本シーリング材工業会、2003
- 2) 建築用シーリング材ハンドブック編集委員会：建築用シーリング材ハンドブック；日本シーリング材工業会、2008
- 3) JIS A 5758：建築用シーリング材、2004
- 4) ISO 11600:Classification and requirements for sealants, 2002
- 5) JASS8 防水工事、日本建築学会、2008
- 6) Ballantyne, E. R., :Curtain wall glazing sealants, Building and Decorations Materials, PP40-42, 1960
- 7) Ballantyne, E. R., Brown, N. G., :Requirements of glazing sealants; Australian Building Research Congress, 1961
- 8) Karpati, K. K. :Weathering rack for sealants ;Journal of Coatings Technology 49 , PP44-47, 1977
- 9) Karpati, K. K. :Device for weathering sealants undergoing cyclic movements ;Journal of Coatings Technology 50 , PP27-30 , 1978
- 10) Karpati, K. K. :New testing methods for sealants ;ASTM STP 691 , PP658-669 , 1980
- 11) Beech C., Beaseley, J. L., :Evaluation of cure and durability aspects of building sealants, ASTM STP 1200, PP64-73, 1992
- 12) Beech, J. C., Beaseley, J. L., :Effects of natural and artificial weathering on building sealants, ASTM STP 1243, PP65-76, 1995
- 13) Beaseley, J. L., :The correlation of modulus changes in building sealants after artificial ageing with those that occur after natural ageing, RILEM Symposium, PP17-25, 1996
- 14) Sandberg, L. B. :Comparison of silicone and urethane sealant durabilities ,Journal of Materials in Civil Engineering , PP278-291 , 1991
- 15) Bolt, H., Bottger, T., : Contribution to validation of laboratory test methods for prediction of the durability of building joint sealants, RILEM Symposium, PP91-103, 1996
- 16) Bolt, H., Bottger, T., : Studies into the long-term durability of elastomeric building sealants (part 2), RILEM Symposium, PP31-46, 1999
- 17) Boettger, T., Bolte, H., :Results from the university of Leipzig project concerning the long term stability of elastomeric building sealant ;ASTM STP 1334, PP60-80, 1999
- 18) Boettger, T., Bolte, H., : Studies into the long-term durability of elastomeric building sealants - final report on the elastomeric properties obtained with

- dumbbell specimens, RILEM Symposium. 2000
- 19) 小池迪夫、田中享二、宗像安則、富板崇、：シーリング材の耐久性に関する研究（その1 暴露ムーブメント試験機の試作）、日本建築学会大会学術梗概集（中国）、P P 247-248, 1977
 - 20) 小池迪夫、田中享二、宗像安則、富板崇、：シーリング材の耐久性に関する研究（その2 硬化過程におけるジョイントムーブメントの影響）、日本建築学会大会学術梗概集（中国）、P P 249-250、1977
 - 21) 小池迪夫、田中享二、宗像安則、：シーリング材の耐久性に関する研究（その3 硬化過程における温度とムーブメントの影響）、日本建築学会大会学術梗概集（北海道）、P P 391-392、1973
 - 22) Koike, M., Tanaka, K., Munakata, Y., : Movement capability of sealants cured in moving joints; Report of Research Laboratory of Engineering Materials, PP173-180, 1979
 - 23) Matsumoto, Y., Ono, T., Maruichi, T. : Fatigue and movement capability of field moulded sealants; ASTM STP 691, PP618-686, 1980
 - 24) 小野正、松本洋一、丸一俊夫、：シーリング材の動的暴露試験（その3 初期欠陥と評価）、日本建築学会大会学術梗概集（北陸）、P P 407-408、1883
 - 25) 小野正、松本洋一、丸一俊夫、：不定形シーリング材の耐久性に関する研究（実曝露試験 その4 9年での外観観察）、P P 405-406, 1984
 - 26) 小野正、松本洋一、丸一俊夫、：接合部におけるシーリング材の寿命推定に関する研究（その6 動曝露試験による寿命分布の検討）、日本建築学会大会学術梗概集（近畿）、P P 559-560、1987
 - 27) Lacasse, M. A., : An examination of yearly and daily temperature change and its significance to the evaluation of sealant performance, ASTM STP 1334, 1998
 - 28) Wolf, A. T., : Durability of Building Sealants, RILEM Report 21, 1999
 - 29) ISO 4628-4: Paints and varnishes -Evaluation of degradation of coatings- Degradation of quality and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance- Part 4, 1977
 - 30) JIS A 1415: 高分子材料の実験室光源による暴露試験方法、1999
 - 31) JIS A 1439: 建築用シーリング材の試験方法、2004
 - 32) JIS K 7350: プラスチック-実験室光源による暴露試験方法、1996
 - 33) ISO 4892: Method of exposure to laboratory light sources, 1994

研究に関連した発表論文

< 発表論文 >

1. 査読論文

- ① 榎本、伊藤、竹本、田中：「建築用シーリング材の耐候性評価のための新しい試験体及び試験方法」、日本建築学会構造系論文集、第 604 号、pp.17-22、2006.06
- ② 榎本、田中：「建築用シーリング材の耐候性に対する動的変形の定量化に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、第 619 号、pp. 27-32、2007.09
- ③ 榎本、伊藤、田中：「建築用シーリング材の動暴露試験における表面劣化に対する地域差に関する研究」、日本建築学会構造系論文集、第 633 号、pp. 1907-1912、2008.11

2. 口頭発表

- ① 榎本、伊藤、田中：「防水材料の耐候性試験 その 2 建築用シーリング材」、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.893-894、2003.09
- ② 榎本、伊藤、田中：「防水材料の耐候性試験 その 4 建築用シーリング材の屋外暴露に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.883-884、2004.08
- ③ 榎本、伊藤、竹本、田中：「防水材料の耐候性試験 その 19 建築用シーリング材－屋外暴露及び促進暴露試験」、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.887-888、2006.09
- ④ 榎本：「建築用シーリング材の耐候性評価方法」、高分子学会、2006.11
- ⑤ 榎本、田中：「建築用シーリング材の耐候劣化に関する研究」、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.37-40、2007.03
- ⑥ 榎本、伊藤：建築用シーリング材の耐候性評価方法、高分子学会、2007.07
- ⑦ 榎本、田中：「建築用シーリング材の耐候性に対する動的変形の影響の地域を考慮した定量化に関する研究」、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.97-100、2008.03
- ⑧ 榎本、伊藤、田中：「防水材料の耐候性試験 その 23 建築用シーリング材の耐候性に関する定量化検討」、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.51-52、2008.09
- ⑨ 榎本、伊藤、田中：「建築用シーリング材の耐候劣化に対する屋外暴露と促進暴露の相関に関する研究」、日本建築学会関東支部研究報告集、CD-ROM、2009.03

3.国際会議

1 ASTM国際シンポジウム

- ① Enomoto, Itou, Tanaka: 「Study on Weatherability of Construction Sealant with Novel Testing Method」, ASTM International Symposium C-24,2005.06
- ② Enomoto ,Itou, Tanaka: 「Quantification of Effect of Enforced Cyclic Movement and Regional Exposure Factors on Weatherability of Construction Sealants」, ASTM International Symposium C-24, 2008.06

2 DBMC国際シンポジウム

- ① Enomoto ,Tanaka: 「Quantification of Effect of Dynamic Movement for Weatherability of Construction Sealants」, Durability of Building Materials and Components 11,pp. 713-720, 2008.05

3 ISO/TC59/SC8

- ① Enomoto: 「Test Results for Weatherability of Sealants」, 2006.09
- ② Enomoto: 「The Quantification of the Effect of Dynamic Transformation on the Weatherability of Construction Sealants」, 2007.09

4 マテリアルライフ学会

- ① Enomoto, Itou, Tanaka: 「Evaluation on Surface Degradation of Construction Sealants According to Regional Factors on by Simple Outdoor Exposure Test」, 2008.10

付 録

- 1) 屋外暴露 6.6 年後の表面ひび割れ状況
- 2) RILEM SBJ Outdoor Weathering Test Method
- 3) I S O / T C 5 9 / S C 8 耐久性試験方法 (案)

1) 屋外暴露 6.6 年後の表面ひび割れ状況




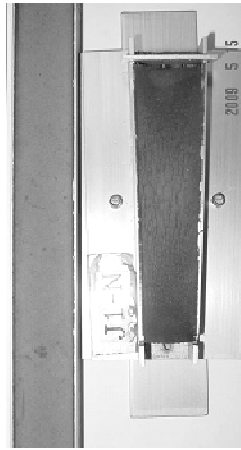

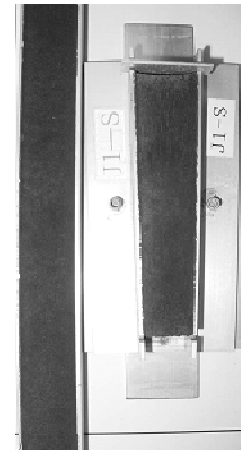
種類	寒冷地(旭)	温暖地(靴子)	亜熱帯(首古島)
SR-1			
IB-2			

写真 付-1-1 ひび割れ表面状態


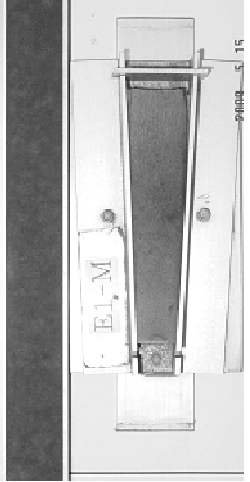

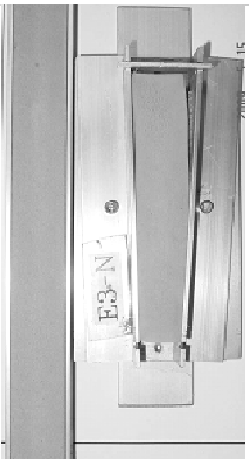
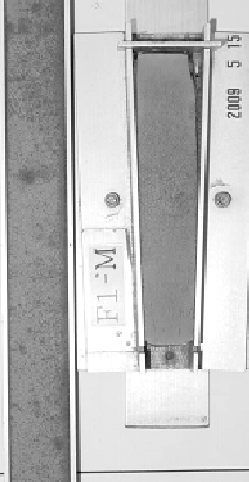
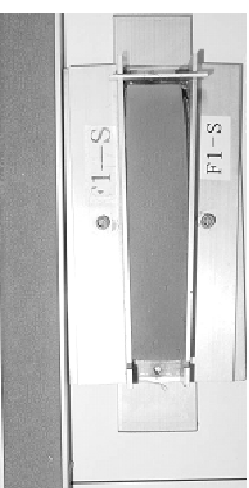
種類	寒冷地(但)	温暖地(桃子)	亜熱帯(富古島)
MS-2 (汎用)			
MS-2 (高湿)			

写真 付-1-2





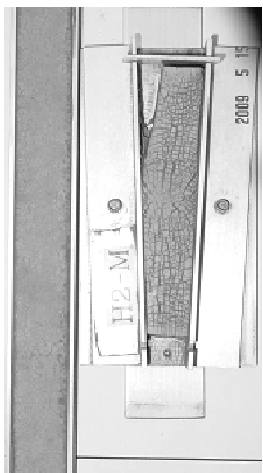
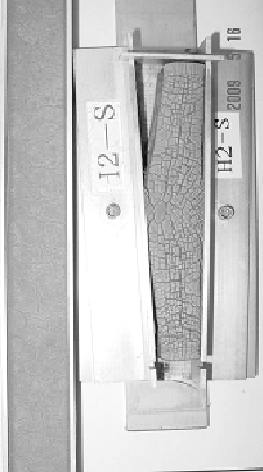
種類	寒冷地(相)	温暖地(継子)	亜熱帯(宮古島)
MS-1			
PS-2			

写真 付-1-3







種類	寒冷地(旧)	温暖地(継子)	亜熱帯(宮古島)
PU-2			
PU-1			

写真 付-1-4

2) Rilem SBJ Outdoor Weathering Test Method



**International Union of Laboratories and
Experts in Construction Materials, Systems
and Structures**

**Technical Committee 190-SBJ
Service Life of Sealed Building and Construction Joints**

Chairman: Dr. Andreas Wolf c/o Dow Corning GmbH, Rheingastrasse 34,
65201 Wiesbaden, Germany

Document: SBJ N025

Document: RILEM SBJ N025
Title: Proposed RILEM Technical Recommendation (RTR) Outdoor
Weathering Test Method
Date: 2007-06-10
Author: A.T. Wolf

*RILEM Secretariat General
157 rue des Blains
F-92220 Bagneux, FRANCE
Tel: +33 1 45 36 10 20 - Fax: +33 1 45 36 63 20
www.rilem.org
E-mail: sg@rilem.org*

RILEM TC 190-SBJ 002 - Durability test method - Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants after exposure of statically cured specimens to outdoor weathering and simultaneous mechanical cycling

This recommendation was prepared by a work group within RILEM TC190-SBJ under the leadership of Mr. Noriyoshi Enomoto, Japan and Mr. Andreas T. Wolf, Germany. The text presented hereafter is a draft for general consideration. Comments should be sent to the TC chairman, Dr. Andreas T. Wolf, Dow Corning GmbH, Rheingaustrasse 34, 65201 Wiesbaden, Germany, Fax: +49 (611) 237.627, E-mail: Andreas.Wolf@DowCorning.com.

TC MEMBERSHIP: **Chairman:** A.T. Wolf, Germany; **Secretary:** N.N.; **Members:** J. Beasley, United Kingdom; L. Carbary, U.S.A.; A.R. Hutchinson, United Kingdom; J.M. Klosowski, USA; M.A. Lacasse, Canada; K. Tanaka, Japan.

Acknowledgement:

The following experts in the field of durability testing of sealants have also substantially contributed to this recommendation: N. Enomoto, Japan; H. Miyauchi, Japan; N. Searle, U.S.A., S. Sugiyama, Japan.

Contents

1. Introduction
2. Scope
3. Safety concerns
4. Related standards
5. Normative references
6. Definitions
7. Summary of test procedure (principle)
8. Significance and use
9. Outdoor exposure conditions
10. Construction of test fixture (exposure rack)
11. Instrumentation for recording climatological data and specimen exposure conditions
12. Materials and equipment for preparation of test specimens
13. Preparation of test specimens
14. Conditioning
15. Test procedures
16. Test report

1. Introduction

Weatherproofing joint seals in building façades or other construction applications are exposed to thermally or psychrometrically induced cyclic movements. This joint movement imposes cyclic mechanical strain on the seal, which, depending on the exposure conditions and the construction design, can vary substantially in rate and amplitude. During their entire service life, joint seals are exposed to cyclic mechanical strain and environmental degradation factors. Cyclic joint movement, sunlight, temperature variations (heat, cold) and moisture in the form of humidity,

condensation or rain are considered to be the primary environmental and service degradation factors leading to sealed joint failure.

This technical recommendation provides a framework for assessing the effects of cyclic movement and weathering on statically cured test specimens in outdoor natural weathering-based procedures. While default values for the test parameters are provided in the test method, the experimenter may adapt test conditions to better reproduce service conditions.

2. Scope

This RILEM recommendation specifies outdoor weathering procedures for determining the effects of cyclic movement and natural weathering on laboratory-cured, elastic weatherproofing joint sealants (one- or multi-component).

3. Safety Concerns

This standard does not purport to address safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this recommendation to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

4. Related Standards

Outdoor weathering methods described in this recommendation are technically related to those published in ASTM C1589, ASTM D1435, ASTM G7 and ISO 877-2, but differ in that the exposure of sealants is carried out in conjunction with simultaneous mechanical movement.

5. Normative References

The following standards contain provisions, which, through reference in this text, constitute provisions of this RILEM Technical Recommendation (RTR). At the time of publication, the editions indicated were valid.

5.1. ASTM Standards

ASTM C1589 (2004) Practice for Outdoor Weathering of Construction Seals and Sealants

ASTM D1435 (2005) Practice for Outdoor Weathering of Plastics

ASTM G7 (2005) Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Non-Metallic Materials

ASTM G113 (2005) Standard Terminology Relating to Natural and Artificial Weathering Tests of Non-Metallic Materials

5.2. ISO Standards

ISO/CD 877-2 (2006) Plastics — Methods of Exposure to Direct Weathering, to Weathering Using Glass-Filtered Daylight, and to Intensified Weathering Using Fresnel Mirrors

ISO 6927 (1981) Building Construction - Jointing Products - Sealants Vocabulary

ISO 11600 (2002) Building Construction — Jointing products — Classification and Requirements for Sealants

ISO 13640 (1999) Building Construction — Jointing Products — Specifications for Test Substrates

6. Definitions

For the purpose of this RILEM technical recommendation, the definitions provided in ISO 6927 apply.

7. Summary of Test Procedure (Principle)

Test specimens are prepared in which the sealant to be tested adheres to two parallel support surfaces (substrates). The specimens are conditioned statically (no movement) in a laboratory controlled climate. The conditioned specimens are then exposed to the outdoor climate and simultaneously to repetitive cycles of enforced mechanical movement. Outdoor weathering is carried out for a minimum of 12 months; the default duration for outdoor exposure is 36 months.

The novel design of the support, which incorporates turnable hinges, allows simultaneous extension and compression of the sealant in the test specimen. Simultaneous extension and compression of the test specimen is induced by extending or compressing one end of the test specimen with a suitable device, for instance a fully automated cyclic movement machine, a tensile test machine, or a hand-operated vice, and inserting the separator (see 12.4) upon completion of the operation in the extended end of the specimen.

At regular intervals (default value: every 3 months), the specimens are visually inspected in their extended/compressed state (extension/compression up to the full rated movement capability of the sealant tested) for changes in appearance, cohesion and adhesion. The depth of any cohesive or adhesive flaw is determined according to the rules provided in ISO 11600 and the general condition of the sealant is reported.

Default test parameters and, for some procedures, alternative options are defined in this technical recommendation (see Table 1). In cases of dispute, the default method is the reference method. The experimenter may deviate from the default values for the following test parameters (deviations from the default values must be highlighted in the test report):

- a) Support substrate – default: anodised aluminium as specified in ISO 13640
- b) L-shaped support element dimensions – default: 120 x 20 x 15 x 2.0 mm (length x width x height x thickness)
- c) Sealed joint dimensions – default: 100mm x 20mm x 15mm (length x width x depth)
- d) Conditioning method (A or B) – default: A
- e) Outdoor exposure – default: exposure rack with 45° inclination angle facing the equator
- f) Mechanical cycling: amplitude and duration (number of cycles) – default values are specified in the test procedure.

Table 1 – Overview of default and alternative choices of key test parameters

Procedure	Default	Alternative Option or Alternative Test Parameter
Conditioning	A	B
Outdoor weathering (on exposure rack)	Exposure (inclination) angle: 45° Exposure orientation: facing equator Minimum height above ground: 0.5 m Specimen backing: unbacked exposure Exposure duration: 3 years Visual inspection: every 3 months	Exposure (inclination) angle: Latitude angle Specimen backing: backed exposure Exposure duration: minimum 1 year
Movement parameters for mechanical cycling	1 cycle/month	

8. Significance and Use

Tests conducted in accordance with this RTR are used to evaluate the relative stability of sealants when exposed outdoors with mechanical movement. The durability of sealants can vary strongly depending on the location of the exposure because of differences in ultraviolet (UV) radiation, time of wetness, temperature, pollutants, and other factors. It cannot be assumed, therefore, that results from one exposure in a single location will be useful for determining the durability in a different location. Exposures in several locations with different climates that represent a broad range of anticipated service conditions are recommended. Because of year-to-year climatological variations, results from a single, short-term outdoor exposure test cannot be used to predict the absolute rate at which a material degrades. Several years of repeat exposures are needed to get an average test result for a given location.

Since test results of outdoor exposure vary with geographic location, as well as seasonal and annual climate changes, the stability of materials is generally determined relative to controls with known performance exposed simultaneously, unless the stabilities of a series of materials exposed at the same time are being compared. Therefore, it is strongly recommended that control materials with known durability should be included with each exposure test. Control materials should be exposed along with the test specimens for the purpose of comparing the performance of test materials to the controls. It is preferable to use two control materials of similar composition and construction to the test specimens, one with relatively good durability and one with relatively poor durability. Unless otherwise specified, use at least three replicate specimens of each test and control material.

Defining exposure periods in terms of total solar or solar-ultraviolet radiant energy can reduce variability in results from separate exposures. Solar ultraviolet measurements may be made using instruments, which record broadband or narrow-band ultraviolet radiation energy levels. An inherent limitation in solar-radiation measurements is that they do not reflect the effects of

temperature and moisture. Variations in moisture and temperature can cause large differences in the amount of degradation produced by the same radiant exposure.

The design of the exposure rack, the location of the specimen on the exposure rack, the spacing between the specimens and the colour of the specimens can affect specimen temperature and time of wetness. In order to minimize variability caused by the location of the specimens, it is recommended that test specimens be placed on a single test panel or on test panels adjacent to each other during exposure.

The results obtained with this recommended procedure will vary depending on the choice of the experimental test parameters (exposure conditions, movement amplitudes, et cetera). When conducting outdoor weathering exposures, it is important to consider how well the test conditions reproduce property changes and failure modes associated with end-use environments for the sealants to be tested. The applicability of test data therefore will be at the discretion of the users of this method and depends on their interpretation of the movement and exposure conditions of a given job site situation.

As a method of test, the procedure, in principle, can be practised with any substrate, but the standard (default) test substrate is anodised aluminium. It should be noted that a job site will have many substrates and all or most of them will be different from the standard test substrate. Thus, results obtained with this method using the standard test substrate will not be predictive of actual field adhesion.

9. Outdoor Exposure Conditions

9.1. Test sites

Exposures can be conducted in any type of climate. However, in order to get more rapid indication of outdoor durability, exposures are often conducted in locations that receive high levels of solar radiation, temperature and moisture. Typically, these conditions are found in hot desert and subtropical or tropical climates. Equally important, however, is to ensure that the selected exposure climates reflect known attributes of the use climate. For example, if the use environment for the sealant being evaluated will include freeze/thaw cycling, specimen exposure in a Northern climate may be advisable. In addition, exposures are often conducted in areas where specimens are subjected to salt particulates (seashore) or industrial pollutants.

9.2. Location of test fixtures

Test fixtures or racks shall be located in cleared areas. The area beneath and in the vicinity of the test fixtures should be characterized by low reflectance and by ground cover typical of the climatological area where the exposures are being conducted. In desert areas, the ground is often gravel to control dust and in most temperature climates, the ground cover should be low-cut grass. If test fixtures are placed on a rooftop, specimens may be subjected to different environmental conditions than at ground level. These differences may affect test results. The type of ground cover at the exposure site shall be indicated in the test report.

The lowest row of test specimens on a test fixture or rack shall be positioned at a minimum height of 0.5 m above ground such as to avoid contact with vegetation and to prevent damage during area maintenance. Test fixtures shall be placed in a location so that there is no shadow on any specimen when the sun's angle of elevation is greater than 20°.

9.3. *Exposure orientation*

Exposure racks shall be oriented such that specimens face the equator. Specimens can be exposed at a number of different orientations (exposure angles) in order to simulate end-use conditions of the sealant to be evaluated. Two standard exposure angles considered in this recommendation are as follows:

45° Exposure angle (default) — Exposure rack is positioned so that the exposed surfaces of specimens are at an angle of 45° from the horizontal.

Latitude angle (option) — Exposure rack is positioned so that the exposed surfaces of specimens are at an angle from the horizontal that is equal to the geographical latitude of the exposure site.

The specimen shall be mounted on the exposure fixture with the sealant joint oriented parallel to the horizon.

9.4. *Specimen backing*

Two types of specimen backing may be used. Comparisons between materials should only be made with exposures conducted with the same specimen backing.

Unbacked exposure (default) — Specimens are exposed so that the specimen is subjected to the direct effects of weather on both (front and back) surfaces.

Backed exposure (option) — Specimens are attached to a solid surface so that only the front surface is directly exposed to weather¹.

Note: The support recommended for this test procedure covers the back of the sealant joint, which is not directly exposed to the weather. However, surface temperatures on the back of the specimen may still vary between backed and unbacked exposure.

10. **Construction of Test Fixture (Exposure Rack)**

10.1. *Materials of construction*

All materials used for test fixtures shall be non-corrodible without surface treatment². For backed exposures, use the same (non-corrodible) construction material as for the exposure rack. Fastening devices for fixing the test specimens on the rack shall be made from non-corrodible material that does not degrade or contaminate the specimens.

10.2. *Test fixture design*

Test racks shall be constructed to hold specimens or specimen holders of convenient width and length. Racks shall be constructed so that any contamination from specimens higher on the exposure rack cannot run down onto specimens in lower positions. For unbacked exposures, the

¹ Surface temperatures of specimens in backed exposures will be higher than for specimens in unbacked exposures. In some cases, the substrate is painted black, which produces significant differences in surface temperatures compared to exposures conducted on unpainted or light coloured substrates. This can cause large differences in degradation rates when compared to specimens backed with unpainted or light coloured substrates and even greater differences when compared to unbacked exposures.

² Aluminium alloys 6061T6 and 6063T6 have been found suitable for use in most locations.

test racks shall be constructed so that most of the specimens are freely exposed to the weather on both (front and back) sides.

11. Instrumentation for Recording Climatological Data and Specimen Exposure Conditions

11.1 Climatological Data

Instruments for recording climatological data during the exposure period should be operated in the immediate vicinity of the exposure racks. Instruments for recording the following climatological data are recommended:

- Ambient temperature (daily maximum and minimum temperature)
- Relative humidity (daily maximum and minimum temperature)
- Total solar radiation
- Total solar ultraviolet radiation
- Daily rainfall

11.2. Temperature Measurement with Insulated and Uninsulated Sensors

Insulated and uninsulated temperature sensors shall comply with the requirements outlined in ISO 4892, Part 1, section 5.1.5, shall be mounted on the specimen rack so that its surface is in the same relative position and subjected to the same influences as the test specimens. Readings shall only be taken after sufficient time has elapsed for the temperature to become constant. Under given operation conditions (uninsulated) black panel thermometers tend to indicate lower temperatures than the (insulated) black standard thermometers. The temperature difference between the two ranges between 3°C and 12°C, being smaller at lower irradiance levels. The default thermometer is the black standard thermometer.

It is further advisable to determine time of wetness on the front surface of specimens.

12. Materials and Equipment for Preparation of Test Specimens

12.1. Support

Anodized aluminium support (as shown in Figure 1) for the preparation of test specimens, consisting of two turnable, L-shaped support elements of dimensions 120mm x 20mm x 15mm x 2.0 mm (length x width x height x thickness) mounted on an anodised aluminium back-plate. For the specification of the anodised aluminium, refer to ISO 13640. If other support materials are to be used, they must be characterised and must be described in the test report. If other support dimensions are used, they must be described in the test report and care must be taken to ensure the same level of irradiance and water exposure at the specimen surface.

12.2 Spacers

Spacers for the preparation of the specimens, of dimensions 20mm x 15mm x 10mm, shall be used with anti-adherent surface (see Figures 1a-1c). If the spacers are made of material to which the sealant adheres, their surface must be made anti-adherent, e.g. by a thin wax coating.



Figure 1c – Photo of support used for cyclic mechanical movement of sealant

12.3. Anti-adherent substrate

Anti-adherent substrate for the preparation of test specimens, e.g. polyethylene (PE) or polytetrafluoroethylene (PTFE) film, shall be used preferably according to the advice of the sealant manufacturer. The anti-adherent substrate shall not restrict the movement of the L-shaped turntable support elements.

12.4. Separators

Separators, of appropriate dimensions shall be used to hold the test specimens in extension by the rated movement capability of the sealant.

12.5. Container

Container filled with demineralised or distilled water shall be used for conditioning according to Method B.

12.6. Ventilated convection-type oven

Ventilated convection-type oven, capable of being maintained at $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$, shall be used for conditioning according to Method B.

12.7. Device for inducing movement in specimen

Device capable of inducing movement in the test specimen by extending or compressing one end of the test specimen. Various devices are deemed suitable for this task and this RTR intentionally does not restrict the nature of this device. Suitable devices may be a fully automated cyclic movement machine, a tensile test machine, or a hand-operated vice.

13. Preparation of Test Specimens

Bring the sealant to $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ before preparation of the specimens (this is generally achieved by conditioning the packaged sealant for 24h at this temperature). Prepare three specimens. For each

specimen, assemble one support (12.1), see Figure 1, by inserting two spacers (12.2) at the ends of the joint. Apply anti-adherent substrate (12.3) to the bottom of the joint.

Follow the instructions of the sealant manufacturer concerning the sealant application, for instance, whether a primer is to be used on the contact surface of the L-shaped support elements.

Fill the hollow volume formed by the support and spacers with the sealant, while taking the following precautions:

- a) Avoid the formation of air bubbles;
- b) Press the sealant to the inner surfaces of the turnable support elements;
- c) Trim the sealant surface so that it is flush with the faces of the support elements and spacers.

Identify each specimen with a unique mark that will not be destroyed or become illegible during exposure.

14. Conditioning

14.1. General

Condition the specimens in accordance with Methods A or B (static conditioning), as agreed between the parties concerned.

14.2. Method A (static conditioning)

Condition the specimens, with the spacers in place, for 28 days at $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ and $(50\pm 5)\%$ relative humidity. After the conditioning, remove the spacers at both sides of the sealant joint.

14.3. Method B (static conditioning)

Condition the specimens first according to Method A. Then subject them three times to the following conditioning cycle:

- a) 3 days in ventilated convection-type oven (12.6) at $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$
- b) 1 day in distilled water at $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$
- c) 2 days in ventilated convection-type oven (12.6) at $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$
- d) 1 day in distilled water at $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$

This cycle may be carried out alternatively in the sequence c) – d) – a) – b). After the conditioning, remove the spacers at both sides of the sealant joint.

Note: Conditioning B is a normal conditioning method using the influence of water and heat to accelerate the cure of the sealant. It is not intended to give information on the durability of the sealant.

15. Test Procedures

15.1. General

After conditioning and removal of the spacers, expose the specimens to the outdoor weathering and simultaneous mechanical movement cycles, as agreed by the parties concerned.

15.2. Exposure

Expose the specimens to outdoor weathering at the selected exposure site for a specified duration, as agreed by the parties concerned. The default exposure period is 3 years. The minimum (optional) exposure period is 1 year.

15.3. Cyclic movement of test specimens

Simultaneously to the outdoor weathering, expose the specimens to mechanical cycling at the rated movement capability of the sealant tested (e.g. $\pm 25\%$, $\pm 50\%$). Simultaneous extension and compression of the test specimen is achieved by extending or compressing one end of the test specimen with a suitable device, for instance a fully-automated cyclic movement machine, a tensile test machine, or a hand-operated vice, and inserting the separator (see 12.4) upon completion of the operation in the extended end of the specimen. The default is a monthly extension/compression cycle. Mechanical cycling is achieved by extending one end of the test specimen, then holding this extension for a period of 1 month. After this period, the test specimen is allowed to relax for 5 min. before the other end of the test specimen is extended. This extension is again held for a period of 1 month. The previously described two extension/compression cycles are repeated at a minimum six times (total duration of 1 year). The default exposure period is 3 years.

15.4. Examination for defects

At regular intervals (default: every 3 months), visually examine the extended/compressed specimens for evidence of loss of adhesion or cohesion or any surface changes (cracking, crazing, chalking, et cetera). Whenever adhesion and/or cohesion loss is observed, measure the depth of the cracks using a measuring device capable of reading to 1mm. Determine the largest observed value and the nature of the failure (adhesive or cohesive) for a specific extension/compression value achieved along the length of the specimen³. Because of the excessive stress experienced by the sealant near the corners of the specimen, during both preparation and testing, loss of adhesion and cohesion is more likely to occur in this region. Determine and report whether the adhesive or cohesive cracks fall within this peripheral region or whether they have propagated further into the bulk of the sealant, in accordance with the requirements defined in ISO 11600.

15.5. Exposure duration

The minimum exposure period (option) is 1 year; the default exposure period is 3 years. However, choose the duration of the exposure period such as to induce a substantial (visible) degradation for the least stable material being evaluated.

16. Test Report

The test report shall include the following information:

- a) The name and address of the test exposure site;
- b) Date of initiation and completion of exposure;
- c) The name, colour and type of sealant;

³ For instance, changes in specimen surface appearance may be reported for 0%, 10%, 20%, and 30% tensile compression/extension movements. Note that the center section of the specimen, while not being exposed to tensile compression/extension movements, is exposed to a certain, but undefined, amount of shear movement resulting from the displacement of sealant material in the compressed section of the specimen. Therefore, acceleration factors for mechanical movement can not be derived from this test method due to the specimen design.

- d) The batch of sealant from which the specimens were produced;
 - e) The test substrate;
 - f) The primer used, if applicable;
 - g) The method of conditioning used (see section 14);
 - h) The experimental parameters used (exposure conditions), i.e.
 - Geographical location of exposure site,
 - Exposure type (e.g. ground level or roof top),
 - Ground coverage,
 - Exposure angle,
 - Climatological information regarding exposure site,
 - Specimen exposure conditions (temperature, time of wetness)
 - i) Any deviation from the default values specified in this method, e.g.
 - Details of the mechanical cycling procedure, if applicable, specifically the amplitude of cycling;
 - Nature of the thermometer used (if other than black standard thermometer has been used);
 - Duration of exposure interval;
- If the experimenter deviates from the default values specified, both the default values as well as the actual conditions used must be reported.
- j) The type of damage (adhesive or cohesive failure as well as changes in surface appearance), the maximum depth of cracks, and the location of the cracks (bulk or peripheral region) observed after each exposure interval for a specific extension/compression value achieved along the length of the specimen;
 - k) Any other observations the tester considers important in describing the condition of the specimen.

3) I S O / T C 5 9 / S C 8 外観変化試験方法 (案)



Document: ISO/TC 59/SC 8/WG 06

N 015

Our ref: ISO/TC 59/SC 8/WG 06/N 015

Date: 17 March 2008

Subject: ISO TC59/SC8/WG06 Durability Test Method (Convener: Andreas Wolf)
Experimental procedure for round-robin test

ISO 11432:1999(E)

©ISO

ISO/TC 59/SC8

Date: 2008-03-17

ISO/TC 59/SC8

Secretariat

Building Construction – Jointing Products – Sealants – Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants after exposure of statically cured specimens to artificial weathering and mechanical cycling

Document type: **International Standard**
Document subtype: **Not applicable**
Document stage:
Document language: **E**

ISO 11432:1999(E)

©ISO

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

International Standard ISO was prepared by Technical Committee ISO/TC 59, *Building construction*, Subcommittee SC 8, *Joining products*.

INTERNATIONAL STANDARD ©ISO

Building Construction – Jointing Products – Sealants – Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants after exposure of statically cured specimens to artificial weathering and mechanical cycling

1 Scope

This International Standard specifies laboratory exposure procedures for determining the effects of cyclic movement and artificial weathering on cured, elastic weatherproofing joint sealants (one- or multi-component).

2 Normative reference

Laboratory-based accelerated weathering methods described in this standard are technically related to those published in ASTM C1519, ASTM C1442, ASTM G151, ASTM G152, ASTM G154, ASTM G155, ISO 4892-1, ISO 4892-2, ISO 4892-3, ISO 11431, RILEM TC139-DBS and TC190-SBJ.

The following standard contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the edition indicated was valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the standard indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

ASTM C1519 (2004) Standard Practice for Evaluating Durability of Building Construction Sealants by Laboratory Accelerated Weathering Procedures

ASTM G151 (2000) Standard Practice for Exposing Non-metallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources

ASTM G152 (2006) Standard Practice for Operating Open Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials

ASTM G154 (2006) Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Non-Metallic Materials

ASTM G155 (2005) Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials

CIE Publication No.85: 1989, Recommendations for the Integrated Irradiance and the Spectral Distribution of Simulated Radiation for Testing Purposes; Solar Spectral Irradiance, ISBN 3 900 734 224

ISO 4892-1: 1999 Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Part 1: General Guidance

ISO 4892-2: 2006 Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Part 2: Xenon Lamps

ISO 4892-3: 2006 Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Part 3: Fluorescent UV Lamps

ISO 4892-4: 2004/Cor 1:2005 Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources – Part 4: Open-flame Carbon-arc Lamps

ISO 6927: 1981 Building Construction - Jointing Products - Sealants Vocabulary

ISO 11431: 2002 Building Construction — Jointing Products — Determination of Adhesion/Cohesion Properties of Sealants after Exposure to Heat, Water and Artificial Light Through Glass

ISO 11600: 2002 Building Construction — Jointing products — Classification and Requirements for Sealants

ISO 13640: 1999 Building Construction — Jointing Products — Specifications for Test Substrates

1

©ISO

JIS A 5758-2004 Sealants for Sealing and Glazing in Buildings

JIS A 1439-2004 Test Methods of Sealants for Sealing and Glazing in Buildings

RILEM Technical Recommendation TC 139-DBS: Durability of Building Sealants, 'Durability test method - Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants for high movement façade joints after exposure to artificial weathering', Materials and Structures, Vol. 34, December 2001, pp 579-588

RILEM Technical Recommendation TC 190-SBJ: Service-life prediction of sealed building and construction joints, 'Durability test method - Determination of changes in adhesion, cohesion and appearance of elastic weatherproofing sealants after exposure of statically cured specimens to artificial weathering and mechanical cycling', Materials and Structures, in print (2008)

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the definitions given in ISO 6927 apply.

4 Principle

Test specimens are prepared in which the sealant to be tested adheres to two parallel support surfaces (substrates). The specimens are conditioned statically (no movement) in a laboratory controlled climate. The conditioned specimens are then exposed to repetitive cycles of artificial weathering (light, heat and moisture) and cyclic movement under controlled environmental conditions. Weathering is carried out for six weeks in an artificial weathering machine. Simultaneously with the weathering, mechanical cycling is carried out by changing the position of the extension/compression twice a week. After completion of each degradation cycle, the specimens are extended to their full rated extension and held there as the sealant beads are visually examined for changes in appearance, cohesion and adhesion. The depth of any cohesive or adhesive failure is determined according to the rules provided in ISO/DIS 11600 and the general condition of the sealant is reported. The weathering and mechanical cycling exposure and the examination for failures constitute a degradation cycle and the degradation cycle is repeated as often as desired to achieve a certain exposure (for the purpose of the round-robin test: 3 durability cycles, photos are to be taken after completion of each degradation cycle).

5 Apparatus

5.1 Support

Anodized aluminium support (as shown in Figure 1) for the preparation of test specimens, consisting of two pivoting, L-shaped anodized aluminium support elements of dimensions 120 mm x 18 mm x 18 mm (length x width x height) and 2 mm thickness riveted onto an anodised aluminium base-plate of 2 mm thickness such that a cavity of dimensions 120 mm x 20 mm x 18 mm (length x width x height) is formed. Riveting of the support elements on the base-plate shall be such that they can be turned freely with minimal friction on the pivot (fulcrum). The base plate holds five (5) equally spaced holes of 5 mm diameter (for improved ventilation of the back face of the sealant such as to ensure better cure or drying of the sealant) and two (2) 3 mm holes for fixation of the spacers. For the specification of the anodised aluminium, refer to ISO 13640. All surfaces of the anodized aluminium support to be later in contact with the sealant shall be cleaned with a suitable cleaner (e.g. acetone). If other support materials are to be used, they must be characterised and must be described in the test report. If other support dimensions are used, they must be described in the test report and care must be taken to ensure the same level of irradiance and water exposure at the specimen surface as described in sections 5.8 and 8.2.

© ISO

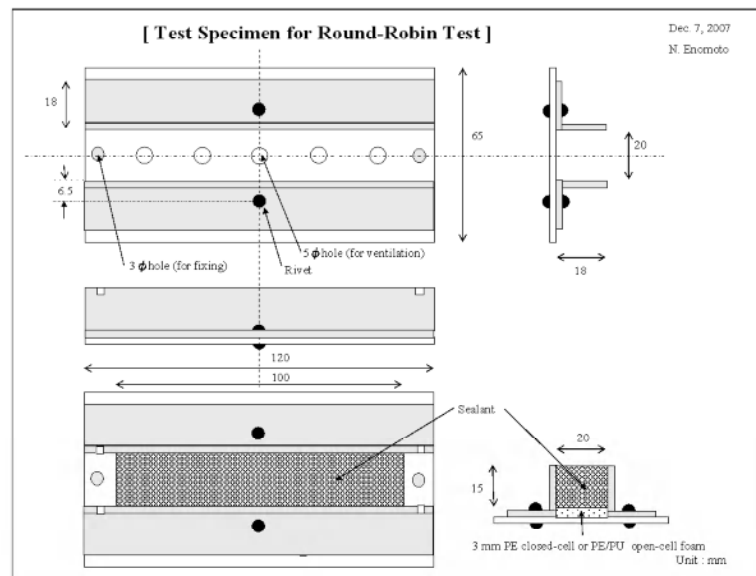


Figure 1 – Schematic drawing of test specimen: sealant in anodised aluminium support used for cyclic mechanical movement of sealant

5.2 Spacers

Spacers for the preparation of the specimens, of dimensions 20 mm x 18 mm x 10 mm, with anti-adherent surface (see Figure 1) shall be used. If the spacers are made of material to which the sealant adheres, their surface must be made anti-adherent, e.g. by a thin wax coating.

5.3 Backing material (bond breaker)

Open-cell foam backing material (polyethylene (PE) or polyurethane (PU) foam) of 3 mm thickness for the preparation of test specimens shall be used. The foam backing material shall not restrict the movement of the L-shaped pivoted support elements.

5.4 Separators

Separators, of appropriate dimensions, shall be used to hold the test specimens in extension up to the rated movement capability of the sealant.

5.5 Container

Container filled with demineralised or distilled water shall be used for conditioning according to Method B.

©ISO

5.6 Ventilated convection-type oven

Ventilated convection-type oven, capable of being maintained at $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$, shall be used for conditioning according to Method B.

5.7 Fully automated test chamber with an artificial light source

Fully automated test chamber with an artificial light source (see 5.8), shall be used, capable of exposing the test specimens to radiation under controlled conditions of temperature, relative humidity, and water, complying with the requirements of ISO 4892, Parts 1, 2, 3 and 4. The radiation is always directed towards the same surface of the sealant specimen. Standard practices for operating such accelerated weathering chambers are described in ISO 4892-1.

In fully automated test equipment, exposure to water for this test method is accomplished by water spraying the specimen surface or immersing the test specimens in water^{1,2}. Contamination of the water is to be avoided. The purity of the water to be used is described in ISO 4892, Part 1. The spray and immersion water is kept at a constant temperature, which shall be below 40°C .

Suitable equipment and test procedures for cyclic exposures to water are described in ISO 4892, Parts 1, 2, 3 and 4. Water is a key factor contributing to the ageing of sealants, especially in combination with exposure to light. In xenon arc devices that use water spray for wetting, relative humidity during the light period shall be maintained at $60 \pm 10\%$ r.h.³

In the immersion technique, the test specimens are placed in a chamber that is periodically flooded with either re-circulated or running water. During immersion, the specimens are completely covered by water. The water temperature is measured below the water surface with the black standard thermometer. The immersion system shall be made from corrosion resistant materials that do not contaminate the water employed.

5.8 Artificial light source

Light sources for the simulation of the global radiation at the surface of the earth are subject to development. The degree of approximation to the spectral power distribution according to CIE publication No. 85 (Table 4) depends on the type of lamp. Xenon-arc lamps with suitable filters are regarded as adequate and are considered the default for the purpose of this ISO standard.

Several factors can change the intensity and the spectral power distribution of the artificial light source during service. The experimenter must comply with the manufacturer's recommendations and the requirements of ISO 4892 to maintain constant irradiation conditions.

¹ For adequate heat transfer to occur during the condensation period in the fluorescent UV/condensation device a specimen thickness of less than 20 mm is required (dimensions of the support included). Since the condensation process provided in the fluorescent UV/condensation apparatus is generally not applicable to the type of sealant specimens tested, wetting in this standard is carried out by water spray on the exposed specimen surface (default method). However, the front surface water spray accessory was not designed for this purpose and requires an unreasonable amount of pure water for the wet period specified. Therefore, in order to comply with the specification, the equipment requires modification to recirculate the water during the exposure period.

² Data generated with these two methods of water exposure (spray or immersion) in a round robin test on a set of sealants for revision of ISO 11431 showed acceptable correlation, although contributions to the various degradation mechanisms acting in the specimens (e.g. hydrolysis, thermal shock, leaching of formulation components, et cetera) can differ between these exposures. The degree of correlation between these two methods thus may vary depending on the specific sealant tested.

³ The revision of ISO 4892-2 (xenon arc exposure) proposed by ISO/TC 61/SC 6/WG2 in 2001 specifies relative humidity control at $60 \pm 10\%$. Generally, automated weathering equipment based on xenon-arc light with water immersion exposure and fluorescent UV lamp type equipment do not allow control of humidity during the light period.

©ISO

5.8.1 Xenon-arc light source (default)

Xenon-arc light source with daylight filters shall be used for the simulation of terrestrial daylight as defined in the CIE publication No. 85 (1989). The spectral power distribution of the radiation shall comply with the requirements outlined in ISO 4892, Part 2, Method A. Irradiance at the surface of the test specimens between the wavelengths of 300 and 800 nm shall be set at 550 W/m^2 and maintained at $\pm 75 \text{ W/m}^2$. The equivalent irradiance setting for 300-400 nm shall be 60 W/m^2 maintained at $\pm 2 \text{ W/m}^2$ and the setting for 340 nm shall be $0.51 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$ maintained at $\pm 0.02 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$. If, exceptionally, other intensities will be used, these shall be stated in the test report. Irradiance below 300 nm shall not exceed 1 W/m^2 . The irradiance shall not vary by more than $\pm 10\%$ over the whole specimen exposure area.

5.8.2 Fluorescent ultraviolet source (option)

Fluorescent UVA-340 lamp(s) shall be used. The radiation of UVA-340 lamp(s) is mainly in the ultraviolet region with negligible visible and infrared radiation. The spectral power distribution of the radiation shall comply with the requirements outlined in ISO 4892, Part 3 for a lamp with 343 nm peak emission. Irradiance below 300 nm shall not exceed 1 W/m^2 . The irradiance shall not vary by more than $\pm 10\%$ over the whole specimen exposure area.

5.8.3 Open-flame carbon arc source (option)

Open-flame carbon arc light sources typically use carbon rods, which contain a mixture of metal salts. An electric current is passed between the carbon rods, which burn and give off ultraviolet, visible, and infrared radiation. Use carbon rods recommended by the device manufacturer. The spectral power distribution of the radiation shall comply with the requirements outlined in ISO 4892, Part 4, open-flame carbon arc light source with daylight type filter (Type 1 Filter).⁴

5.9 Insulated and uninsulated temperature sensors

Insulated (default) and uninsulated (option) temperature sensors shall comply with the requirements outlined in ISO 4892, Part 1, section 5.1.5. Under given operation conditions black panel (uninsulated) thermometers tend to indicate lower temperatures than the black standard (insulated) thermometers. The temperature difference between the two types ranges between $3 \text{ }^\circ\text{C}$ and $12 \text{ }^\circ\text{C}$, being smaller at lower irradiance levels. The default thermometer is the black standard thermometer.

The thermometer shall be mounted on the specimen rack so that its surface is in the same relative position and subjected to the same influences as the test specimens. Readings shall only be taken after sufficient time has elapsed for the temperature to become constant.

6 Preparation of test specimens

Bring the sealant to $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ before preparation of the specimens (this is generally achieved by conditioning the packaged sealant for 24 h at this temperature). Prepare three specimens. For each specimen, assemble one support (5.1), see Figure 2, by inserting two spacers (5.2) at the ends of the joint. Apply the open-cell backing foam (5.3) to the bottom of the joint.

Follow the instructions of the sealant manufacturer concerning the sealant application, for instance, whether a primer is to be used on the contact surface of the L-shaped support elements.

Fill the hollow volume (dimensions: width x depth x length = $20 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) formed by the support, the backing foam and spacers with the sealant, while taking the following precautions:

- a) Avoid the formation of air bubbles;
- b) Press the sealant to the inner surfaces of the pivoted support elements;

⁴ The chemical composition of the carbon rods can affect the spectral power distribution of open flame carbon arc light sources.

©ISO

- c) Trim the sealant surface so that it is flush with the faces of the support elements and spacers.

7 Conditioning

7.1 General

Condition the specimens at rest (static conditioning) in accordance with Methods A (default) or B (option), as agreed between the parties concerned. For the round robin test, method A applies.

7.2 Method A (default)

Place the specimens such that air can freely circulate to the back-face of the base-plate. Condition the specimens, with the spacers in place, for 28 days at (23 ± 2) °C and $(50\pm 5)\%$ relative humidity. After the conditioning, remove the spacers at both sides of the sealant joint.

7.3 Method B (option)

Condition the specimens first according to Method A. Then subject them three times to the following conditioning cycle:

- a) 3 days in the oven (5.6) at (70 ± 2) °C
- b) 1 day in distilled water at (23 ± 2) °C
- c) 2 days in the oven (5.6) at (70 ± 2) °C
- d) 1 day in distilled water at (23 ± 2) °C

This cycle may be carried out alternatively in the sequence c) – d) – a) – b). After the conditioning, remove the spacers at both sides of the sealant joint.

Note: Conditioning B is a normal conditioning method using the influence of water and heat to accelerate the cure of the sealant. It is not intended to give information on the durability of the sealant.

8 Test procedure

8.1 General

After conditioning and removal of the spacers, expose the specimens to the artificial weathering cycles and mechanical movement (fatigue) cycles, as agreed by the parties concerned. The choice of the type of accelerated weathering exposure shall be by mutual agreement among the interested parties. Because the different types of exposures may produce different test results, they cannot be used interchangeably without supporting data that demonstrates equivalency of the procedures for the materials tested.

8.2 Accelerated weathering exposure conditions (default period: 6 weeks)

During the artificial weathering cycle, expose the test specimens to radiation by the artificial light source such that the specimen test surface faces the lamp. During repeated exposure periods, i.e. when the specimens are exposed to several degradation cycles, direct the radiation always towards the same surface of the sealant. Mount the test specimens so that the plane of the test surface is at a distance from the lamp(s) consistent with the method for operating the apparatus (ISO 4892-2 or 4892-3 or 4892-4). Measure the test temperatures with a black standard thermometer (default) or black panel thermometer (option), see section 5.10, mounted on the specimen rack so that the face of the temperature sensor is in the same relative position and is subjected to the same influences as the test specimens.

Note 1 – The positive and negative deviations from the specified set points for irradiance, temperature and relative humidity are allowable operational fluctuations during equilibrium operation. They do not imply that the user is allowed to program a set point higher or lower than that specified. The maximum operational

©ISO

fluctuation is a critical parameter that assures adequate operation of the equipment. If the operational fluctuations exceed the maximum allowable after the equipment has stabilized, discontinue the test and correct the cause of the problem before continuing.

8.2.1 Exposure in automatic weathering equipment – Xenon-arc type (default)

The light source shall be one or more xenon arc lamps with daylight filters installed to simulate terrestrial daylight. The spectral power distribution and the operating practices for the automatic weathering equipment shall be as defined in ISO 4892, Part 2 (and ASTM G 155). The irradiance level for the 300-800 nm spectral region shall be set at 550 W/m^2 and maintained at $\pm 75 \text{ W/m}^2$. The equivalent irradiance setting for 300-400 nm shall be 60 W/m^2 maintained at $\pm 2 \text{ W/m}^2$ and the setting for 340 nm shall be $0.51 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$ maintained at $\pm 0.02 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$.

The standard conditions of test (default) are repeated cycles of exposure that consist of six weeks of exposure in the xenon arc machine with alternating periods of dry and wet:

- a) A dry period of 102 minutes, in which the specimens are exposed to radiation and heat. From the start of the dry period the temperature is allowed to rise, until it reaches a steady temperature of $(65 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$, as measured on the black standard thermometer (5.10). Relative humidity during the dry period is $(60 \pm 10)\%$ using the xenon arc device with water spray. The chamber air temperature in machines that allow for its control shall be $44 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- b) A wet period of 18 minutes, in which the specimens are exposed to radiation and wetting either by water spray on the exposed surface or immersion in water. The water temperature is less than $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

The cycles of dry and wet exposures are repeated 504 times (default) (six weeks total duration in the weathering machine).

Filtered xenon arcs provide a good representation of the spectral power distribution as defined in the CIE publication No. 85 and therefore are considered as the reference for the purpose of this recommendation.

8.2.2 Exposure in automatic weathering equipment - Fluorescent UVA-340/Water Spray Type (option)

The apparatus employed shall conform to the requirements of ISO 4892, Part 3 (and ASTM G 154), for a fluorescent UV device with fluorescent UVA-340 lamps having peak emission at 343 nm. The equipment shall be fitted with a suitable spraying unit. It should be noted that for sealants sensitive to long wavelength UV and visible radiation, the absence of this radiation in these lamps may distort stability ranking when compared to exterior environment exposure. In non-irradiance controlled devices, the achievable target value of irradiance depends on the operating temperature. Therefore, use of irradiance-controlled devices is recommended. For the device with UVA-340 lamps operating at $(65 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ black standard thermometer temperature, the target value for irradiance at 340 nm is $0.75 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$ maintained at $\pm 0.02 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{nm)}$.

The standard conditions of test (default) are repeated cycles of exposure that consist of six weeks of exposure in the fluorescent UV/water spray device with alternating periods of dry and wet (temperature and cycle duration specified are defaults; temperatures specified are measured on the black standard thermometer):

- a) Dry Period of Light: 8 hours of UV radiation at $(65 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$, followed by
- b) Water Spray Period: 4 hours of UV radiation and water spray on the front surface. The water temperature is less than $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

The cycles of dry light and light/water spray periods are repeated 84 times (default) (six weeks total duration in the weathering machine).

8.2.3 Exposure in automatic weathering equipment – Open-Flame Carbon Arc (option)

The apparatus employed shall conform to the requirements of ISO 4892, Part 4 (and ASTM G 152), for an open-flame carbon-arc light device fitted with a daylight-type (Type 1) filter (see Table 1 in ISO 4892-4). The equipment shall be fitted with a suitable spraying unit. The black standard temperature shall be $(65 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$.

©ISO

The standard conditions of test (default) are repeated cycles of exposure that consist of six weeks of exposure in the open-flame carbon-arc light/water spray device with alternating periods of dry and wet (temperature and cycle duration specified are defaults; temperatures specified are measured on the black standard thermometer, air temperature not controlled):

- a) Dry Period of Light: 102 minutes of light radiation at $(65 \pm 3)^\circ\text{C}$, followed by
- b) Water Spray Period: 18 minutes of light radiation and water spray on the front surface. The water temperature is less than 40°C .

The cycles of dry light and light/water spray periods are repeated 504 times (default) (six weeks total duration in the weathering machine).

8.3 Mechanical cycling

Simultaneous to accelerated weathering cycle, expose the specimens to mechanical cycling at their rated movement capability (e.g. $\pm 25\%$, $\pm 50\%$) by changing the position of the separator (5.4) manually twice per week, resulting in two exposure intervals of 3 and 4 days length. To ensure both ends of the specimen are exposed to the same duration of compression and extension, alternating intervals shall be used (for example, if the position of the separator is changed on Monday and Thursday during the first week, the position of the separator shall be changed on Monday and Friday during the second week; this cycle is then repeated in the third and fourth week and so on).

9 Examination for defects

Upon completion of each degradation cycle (weathering and cyclic movement), remove the specimens from the cycling machine and extend them to their rated movement capability using separators (5.4) inserted at one end of the specimens. Then examine the specimens for evidence of loss of adhesion or cohesion or any surface changes (cracking, crazing, chalking, et cetera). Whenever adhesion and/or cohesion loss is observed, measure the depth of the cracks using a measuring device capable of reading to 1mm.

Determine the quantity and width of the cracks for a specific extension/compression value achieved along the length of the specimen according to Tables 2 and 3, respectively.

Table 2 – Rating for quantity of cracks

Rating	Quantity of Cracks (Q)
0	None, i.e. no detectable cracks
1	Very few, i.e. some just significant cracks
2	Few, i.e. small but significant amount of cracks
3	Moderate, i.e. medium amount of cracks
4	Considerable, i.e. serious amount of cracks
5	Dense, i.e. dense pattern of crack

Table 3 – Rating for width of cracks

Rating	Width of Cracks
0	Not visible at 10x magnification
1	Only visible under magnification up to 10x
2	Just visible with normal (corrected) vision
3	Clearly visible with normal (corrected) vision

©ISO

- 4 Large cracks generally up to 1mm wide
- 5 Very large cracks generally more than 1 mm wide

Determine the largest observed value for crack density, crack width and crack depth as well as the nature of the failure (adhesive or cohesive) for a specific extension/compression value achieved along the length of the specimen. For the purpose of the round robin test make the readings at $\pm 0\%$, $\pm 15\%$, and $\pm 25\%$ movement exposures within an area of ± 5 mm adjacent to this movement rating (see Figure 2).

Because of the excessive stress experienced by the sealant near the corners of the specimen, during both preparation and testing, loss of adhesion and cohesion is more likely to occur in this region. Determine and report whether the adhesive or cohesive cracks fall within this peripheral region or whether they have propagated further into the bulk of the sealant, in accordance with the requirements defined in ISO 11600.

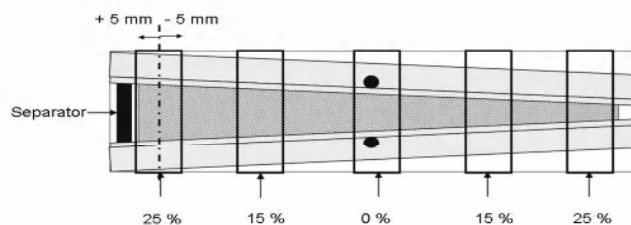


Figure 2 – Schematic drawing of test specimen showing areas for evaluation of defects

10 Continuation of degradation cycles

After examination of the specimens, remove the separators and allow the specimen to relax. Place the specimens in the weathering devices and repeat the procedure described in sections 8 and 9. The default value for the total number of degradation cycles is three. However, choose the minimum number of degradation cycles such as to induce a substantial (visible) degradation for the least stable material being evaluated.

11 Test report

The test report shall include the following information:

- a) The name and address of the test laboratory and date of the test;
- b) The name, colour and type of sealant;
- c) The batch of sealant from which the specimens were produced;
- d) The test substrate;
- e) The primer used, if applicable;

©ISO

- g) The method of conditioning used (see section 7);
- h) The experimental weathering parameters used; i.e.
 - Type of artificial weathering procedure used (xenon/spray, xenon/immersion, fluorescent UV/spray, open-flame carbon arc/water spray);
 - Duration of the artificial weathering exposure cycle;
 - Type of light source;
 - Irradiance settings;
 - Temperature and relative humidity of light exposure;
 - Whether humidity has been controlled during the light exposure period;
 - Whether chamber air temperature has been controlled during the light exposure period;
 - Type of moisture exposure (in spray or immersion) and temperature of water during spray or immersion;
 - Timing of light and light/water cycles.
- i) The amplitude of the mechanical cycling;
- j) Any deviation from the default values specified in this method, e.g. the nature of the thermometer used (if other than black standard thermometer has been used);

Note: If the experimenter deviates from the default values specified, both the default values as well as the actual conditions used must be reported.

- k) The type of damage (adhesive or cohesive failure as well as changes in surface appearance, such as discoloration), the quantity, width and the maximum depth of cracks (in mm), as well as the location of the cracks (bulk or peripheral region), observed after each exposure interval for a specific extension/compression value achieved along the length of the specimen; photographic documentation (minimum 75mm x 100mm print size) of the surface condition of the specimen with a minimum resolution of 800 dpi (31.5 dots per mm) Note: This requires a digital camera with a minimum resolution of 8 Megapixel.
- l) The number of degradation cycles;
- m) Any other observations the tester considers important in describing the condition of the specimen.

謝 辭

謝辞

本論文は、筆者が2000年から行われた日本建築学会の「防水材料耐候性試験方法小委員会」に参加し、活動の一環として行われた建築用シーリング材の耐候性評価の成果を中心にまとめたものです。当小委員会主査として新たな評価方法を承認頂き、かつその後の東京工業大学社会人博士課程において終始ご指導・ご鞭撻により研究成果を形あるものに導き頂いた東京工業大学 田中享二教授に感謝申し上げます。

同小委員会活動の研究活動においては、オート化学工業 伊藤彰彦氏、建材試験センター 清水市郎氏、日本ウエザリングテストセンター 高根由充氏ならびに久貝安生氏、北海道立北方建築総合研究所 松村宇氏、スガ試験機 三田村勝昭氏、竹中工務店 岡本肇氏に、また研究活動が支障なく進むよう支援を頂いた日本シーリング材工業会事務局の広石真孝氏並びに佐藤重徳氏及び屋外暴露試験に協力を頂いた岩田克博氏、清水裕之氏、杉山直樹氏、東日本シーリング工事業協同組合連合会の鈴木賢一氏並びに服部健一氏に厚く御礼申し上げます。

また、建築用シーリング材の劣化状態判定に協力頂いた清水建設 小野正氏、竹本喜昭氏、大成建設 山宮輝夫氏、竹中工務店 大澤悟氏、鹿島建設 尾形真隆氏、佐々木正治氏、フジタ 土田恭義氏、添田智美氏、間組 山田人司氏、東急建設 山本康氏、公共建築協会 梧原幸八郎氏、東日本シーリング工事業協同組合連合会技術委員会、日本シーリング材工業会技術委員会、サンスター技研製品開発部、東京支店の方々に対しても御礼申し上げます。

当研究の審査を頂きました林静雄先生（東京工業大学教授）、篠原保二先生（東京工業大学准教授）、三上貴正先生（東京工業大学准教授）、横山裕先生（東京工業大学准教授）に、また研究の進め方についてアドバイスを頂いた材料生産ゼミの高橋宏樹先生（ものづくり大学教授）、横井健先生（東海大学講師）、田中研究室の宮内博之氏（現忠南大学准教授）、劉靈芝氏、市川裕一氏、塚越雅幸氏、石原沙織氏にもあわせて感謝いたします。

さらに当研究の新規試験方法の国際的展開に対し尽力を頂いている Rilem SBJ 及び ISO/TC59/SC8/WG6 の Convenor の Dr. Andreas Wolf 氏、ならびに 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components の国際会議への発表に対し内容についての懇切丁寧な指導を頂いた National Research Council Canada の Dr. Michael Lacasse 氏にも厚く感謝申し上げます。

また筆者が所属するサンスター技研（株）において技術のあり方をご指導頂いた故太田稔氏、原勝之氏、入社以来建築用シーリング材の技術についてご指導頂いた笹谷茂生氏、東京工業大学社会人博士課程入学に対しご支援を頂いた多田羅晋由氏、奥田伸二氏、さらに屋外暴露試験において長期間評価に対し協力を頂いた松野千尋氏にもあわせて

感謝いたします。

最後に当研究は試験条件確認のため自宅においても並行して屋外暴露試験を行い、筆者が不在時に試験体の伸縮変形付与作業に協力してくれた家族にもあわせて感謝致します。

2009年8月