

シーウォール技術資料



シーウォール推進協議会

目 次

シーウォールとは	1
シーウォールの種類	2
アクリル板	4
特殊コーキング材	9
性能試験	10
FEM解析による構造計算	18

参考資料

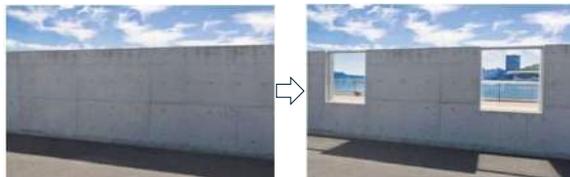
- ① 導入実績一覧
- ② 一方枠アンカー計算
- ③ 一方枠設計時の注意事項
- ④ 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書

シーウォールとは

シーウォールとは「透明アクリル板を活用した水害対策製品」の名称です。阪神淡路大震災をきっかけに開発され、2008年に神戸港で初めて設置されました。コンクリート堤防にシーウォールを取り付けることで「向こう側が見える」ようになります。

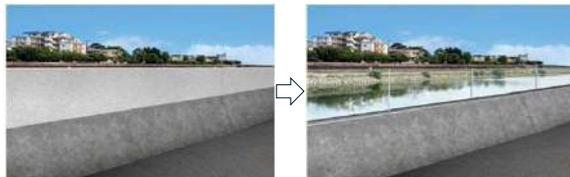
【視認性】

万が一の際に、目視で状況を確認できるかどうか情報が把握や危険の察知に大きく関わります。避難等の判断に影響を与えることも十分考えられることから、視認性は防災において非常に大切です。



【景観性】

防潮堤や河川堤防で背の高いコンクリート壁が建つことに抵抗感を覚える方々も少なくありません。透明な堤防であれば、閉塞感や圧迫感が軽減され、日常において“やすらぎ”を得られます。



シーウォールの特徴

【高品質なアクリル板】

透明部材はアクリル板を採用しています。アクリル板は高い透明度と耐候性、強度を併せ持つ材料であり、屋外での長期使用に最適です。

シーウォールは住友化学製のアクリル板（スミベックス®）を使用しています。スミベックスブランドは原料から成形品まで一貫して製造を行い、管理を徹底し高い品質を確保しています。

【アクリル板の温度伸縮を吸収できる構造】

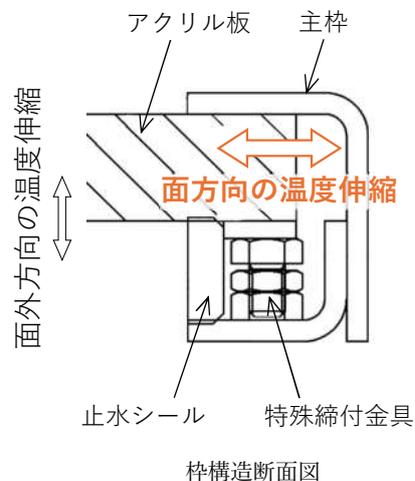
アクリル板は、温度変化によりコンクリートの約6倍も伸び縮みします。アクリル板が伸縮する時に一定の力で拘束されたまま平行（主に面方向）に動く仕組みです。伸縮時にアクリル板に応力が溜まらないため、常に必要な強度を保つことが可能です。

【部材の交換が簡単】

アクリル板を含め枠内のすべての部材を簡単に取り外すことができます。メンテナンスも容易に行え、劣化した部材だけの交換ができるため経済的です。

【施工が容易】

枠付き構造のため、施工に特殊技能を必要としません。運搬やスリングベルト等での吊り込みが容易で、据付や固定などの作業が正確に行えます。



評価を取得

アクリル板の水害対策技術は、新しい考え方で歴史も浅く、明確な設計基準がありません。そこでシーウォールは、国や自治体に安心して導入いただくため、様々な性能試験で安全性を確認し、一般財団法人沿岸技術研究センターの評価を取得しました。

【評価の結果】※

- (1) 枠付き構造であり、透明樹脂板が取り外し可能である。
- (2) 水深10m相当の静水圧で漏水量が 6.10×10^{-8} (m³/m/s) である。
- (3) 透明樹脂板の温度伸縮を枠部分で吸収できる構造である。

※詳細は、港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書をご確認ください。



シーウォールの種類

四方枠タイプ

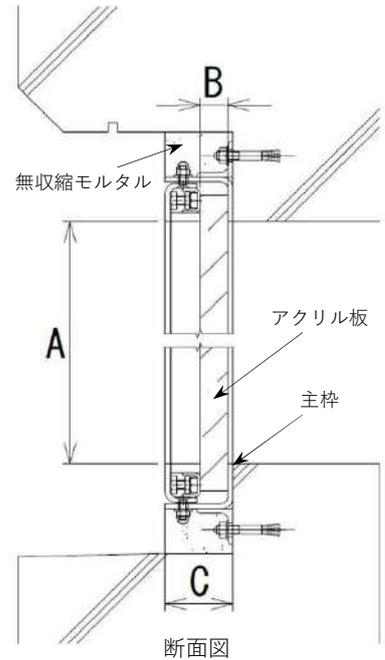
アクリル板の四辺を枠で囲む「窓」形状です。堤防の高さが3mを超える場合や、設計荷重が大きい場合などに最適です。圧迫感を軽減し光を取り込みます。施工はコンクリート箱抜き部に水流側から固定し、無収縮モルタルで一体化します。



岩手県金石市 金石港
堤防高：6m



宮城県気仙沼市 魚浜地区
堤防高：3.7m



A 透明部寸法 (W×H)	B アクリル板厚 (t)	C 奥行外寸 (t+45)
1500mm×1000mm	30mm	75mm
2000mm×1000mm	40mm	85mm
2500mm×1000mm	50mm	95mm

四方枠タイプはWとHの入れ替えが可能です。
上記表にないサイズをご相談ください。
アクリル板厚は公称寸法です。

三方枠タイプ

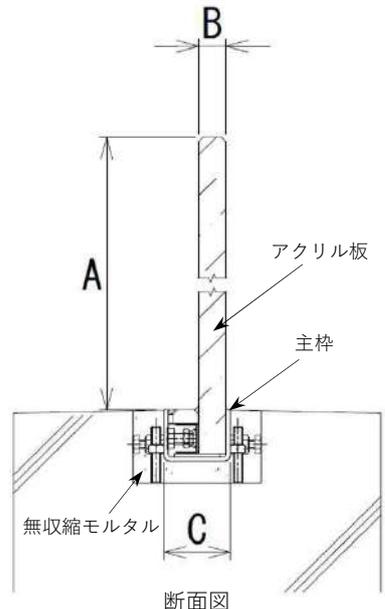
アクリル板の上辺以外の三辺を枠で囲む形状です。堤防の高さが3mより低い場合や景観配慮を重視したい場合に最適です。支柱を建て込み連結することも可能です。施工はコンクリート箱抜き部または支柱部（H鋼）に差し込み無収縮モルタルで一体化します。



静岡県焼津市 焼津漁港
堤防高：1.2m



兵庫県芦屋市 南芦屋浜
堤防高：1.5m



A 透明部寸法 (W×H)	B アクリル板厚 (t)	C 奥行外寸 (t+42)
1500mm×1000mm	30mm	72mm
2000mm×1000mm	40mm	82mm
2500mm×1000mm	50mm	92mm

上記表にないサイズをご相談ください。
アクリル板厚は公称寸法です。

シーウォールの種類

一方枠タイプ

アクリル板の下辺一辺のみを固定する形状で、製品同士を特殊コーキング材で連結します。堤防の高さが1m程度で、設計荷重が比較的小さい場合に最適です。

一方枠タイプは、コンクリートに埋め込む「埋込型」と、アンカーで固定する「アンカー型」の2種類から選択できます。

【埋込型】

コンクリート箱抜き部に枠を埋め込み、無収縮モルタルで一体化します。施工後はほとんどアクリル板しか見えないため、最も景観性が高いです。



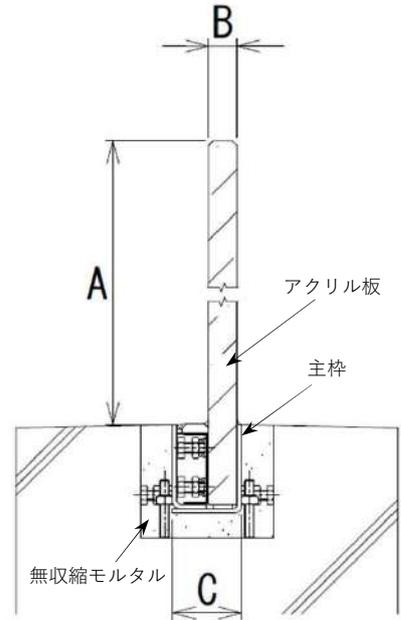
福岡県久留米市 一級河川筑後川
堤防高：1m



埋込型の枠納まり

A	B	C
透明部寸法 (W×H)	アクリル板厚 (t)	奥行外寸 (t+42)
1980mm× 500mm	30mm	72mm
1980mm× 1000mm	40mm	82mm

上記表にないサイズはご相談ください。
アクリル板厚は公称寸法です。



断面図

【アンカー型】

コンクリート天端にアンカーで固定できるため、既設のコンクリート堤防を簡単に嵩上げすることができます。また、アンカーを撤去することで枠ごと取り外すことができるため、段階的に堤防高さを高くする場合にも対応しています。



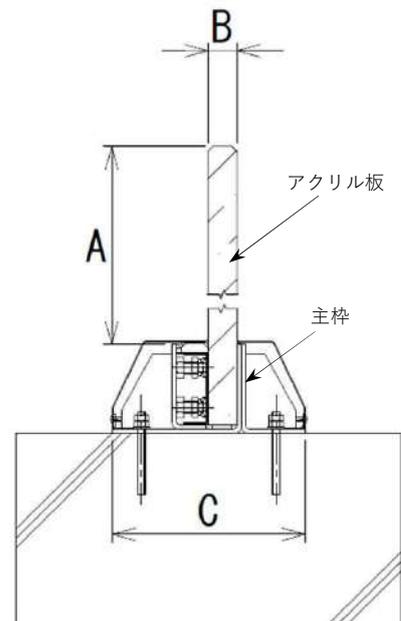
埼玉県戸田市 一級河川菖蒲川
堤防高：0.5m



アンカー型の枠納まり

A	B	C
透明部寸法 (W×H)	アクリル板厚 (t)	奥行外寸 (t+170)
1980mm× 500mm	30mm	200mm
1980mm× 1000mm	40mm	210mm

上記表にないサイズはご相談ください。
アクリル板厚は公称寸法です。



断面図

アクリル板

シーウォールは製品特性上、どのような気象条件下でも変わらない透明度と強度が必要です。アクリルはガラスを凌ぐ高い透明度を有し、耐候性・耐久性にも優れた材料です。板厚を増しても透明度が損なわれることなく強度を増すことができる透明素材であることから、シーウォールにはアクリルを使用しています。

透明素材の比較検討

材質	ガラス		ポリカーボネート (PC)		アクリル (PMMA)	
	薄板 	厚板 や塊 	薄板 	厚板 や塊 あまり流通して いない。キャスト 製法に向かない こともあり厚板 や塊の製造が 難しい。	薄板 	厚板 や塊 
透明度	非常に高い。透明度 約92%		高い。透明度 約89% (85%~90%)		最も高い。透明度 約93%	
耐候性	強い。ほとんど劣化しない。		外部使用では黄変、劣化 (脆化) する。		強い。ほとんど劣化しない。	
加工性	困難。特に強化ガラスでは不可能。		切断や溶着は難しい。		容易。切断や積層、現場溶着も可能。	
耐衝撃性	弱い、割れやすい。		非常に強い。		強い。厚板で耐衝撃性を強化しやすい。	
耐摩耗性	強い。硬度はポリカーボネートの10倍以上。		弱い。		弱いがポリカーボネートの2~3倍	
総合評価	× 衝撃に弱いことが大きな問題。厚い素材を使用しても衝撃によって割れ、クラックが進行するためシーウォールには不適。		△ 厚材の製造が難しいこと、耐候性が高くないことが問題。板自体の長期的な透明度・強度を重要な判断材料とするシーウォールには不適。		○ 耐候性、透明度と加工性が外部使用の大判厚板に適している。特に屋外でもほとんど強度低下しない耐候性は、シーウォールの素材として最適。	

アクリル板の特性

(1) アクリル板 (スミベックス®) の一般的性質

出展元: [一般的性質 | 技術情報 | 住化アクリル販売株式会社](#)

項目	試験方法	単位	スミベックス
比重	JIS K7112(A法)	-	1.19
引張強さ	JIS K7162	MPa	79
引張伸び	JIS K7162	%	4-7
曲げ強さ	JIS K7171	MPa	120
曲げ弾性率	JIS K7171	MPa	3200
アイゾット衝撃強さ	JIS K7110	kJ/m ²	1.7
シャルピー衝撃強さ	JIS K7111	kJ/m ²	16
ロックウェル硬	JIS K7202-2	Mスケール	100
鉛筆硬度	JIS K5600-5-4	-	H-2H
吸水率	JISK7209	(24時間)%	0.3
		(飽和)%	2.1
全光線透過率	JIS K7361-1	%	92.6
屈折率	JIS K7142	(ナトリウムD)	1.49
熱伝導率	JIS A1412	W/m・K	0.19
比熱容量	JIS K7123	kJ/kg・K	1.47
荷重たわみ温度	JIS K7191-2(A)	°C	106
成形戻り温度	住化法	°C	87
連続最高使用温	-	°C	80
線膨張係数	JIS K7197	°C -1	7.0 × 10 ⁻⁵
加熱寸法変化率	160°C	%	2
表面抵抗率	JIS K6911	Ω/□	>10 ¹⁶
体積抵抗率	JIS K6911	Ω・cm	>10 ¹⁵
絶縁抵抗	JIS K6911	Ω	>10 ¹⁵
耐電圧	JIS K6911	kV/mm	20
誘電率	JIS K6911	(60Hz)	3.3
	JIS K6911	(10 ³ Hz)	3
誘電正接	JIS K6911	(60Hz)	0.06
	JIS K6911	(10 ³ Hz)	0.04

注:上記物性値は代表値であり、規格値ではありません。

アクリル板

(2) アクリル板の温度変化による伸縮

1) 線膨張係数

アクリル板の線膨張係数は図のように温度によって変化する。

2) 平均的な伸縮量は次式で計算する。

2) 平均的な伸縮量は次式で計算する。

$$\Delta \ell = \ell \times \alpha^1 + \alpha^2 / 2 \times (t^2 - t^1)$$

$\Delta \ell$ 伸縮量

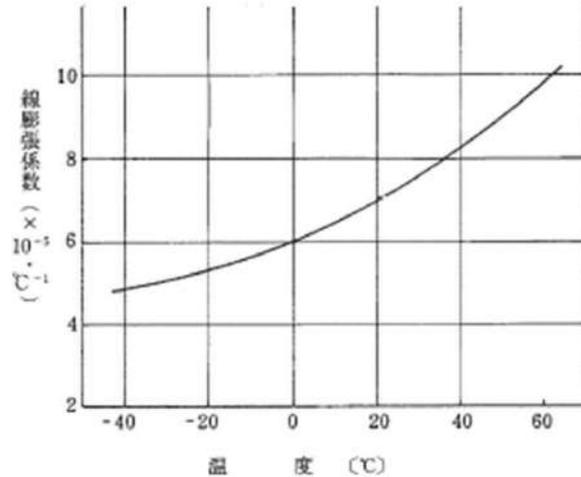
ℓ アクリル板の長さ (cm)

t^1 使用最低温度 (°C)

t^2 使用最高温度 (°C)

α^1 温度 t^1 における線膨張係数 (°C⁻¹)

α^2 温度 t^2 における線膨張係数 (°C⁻¹)



(3) アクリルの許容応力度

1) アクリル板の許容応力度 (20°Cの場合) を表に示す。

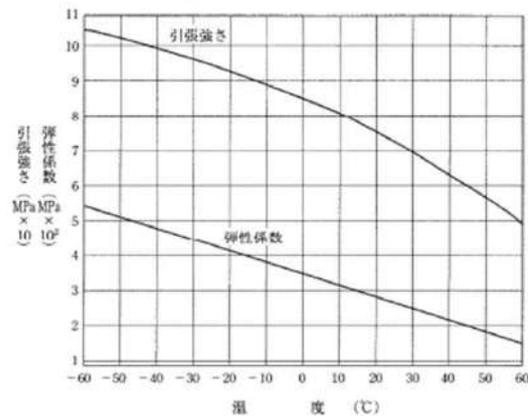
2) 引張強さ及び弾性係数は図のように温度によって変化する。

1) アクリルの許容応力度 (20°Cの場合)

アクリル板の設計データ (20°C)

項目	単位	荷重	
弾性係数	MPa	2.9×10^4	
許容応力 (引張強さ)	MPa	屋外	14.7
		屋内	19.6
ポアソン比	-	0.35	

2) 引張強さ及び弾性係数は温度により変化する。

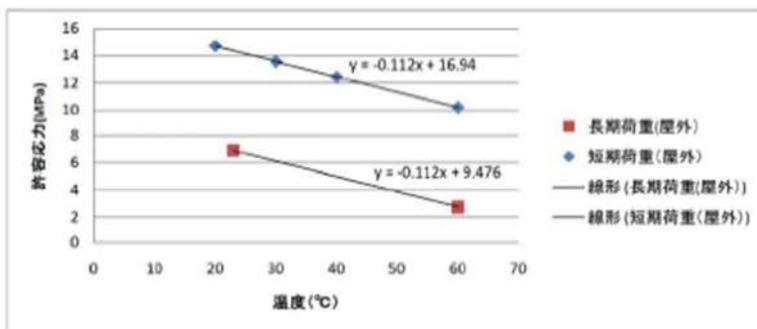


3) 温度変化を考慮した許容応力度の設定

どのような気象条件下でも必要な強度を確保するため、アクリル板の表面温度が50°C以下の場所とし許容応力度を設定する。この考え方をシーウォールの基準とし、一般財団法人沿岸技術研究センターの評価を取得している。

(アクリル板の許容応力度の設定は、水族館の水槽のような永続的な荷重が作用する場合のみを長期荷重として取扱うため、高潮時や津波時は短期荷重扱いとなる。)

温度と許容応力度の関係



※1 材料の表面温度が50°C以下の場所とし許容応力度を設定する。

許容応力度 (短期) = $-0.112 \times 50 + 16.94 = 11.34 \text{ MPa} \rightarrow 11.3 \text{ MPa}$ とする。



例) 外気温37.1°C (2023年8月17日)
アクリル板の表面温度 40.5°C

アクリル板

アクリル板は紫外線の影響を受けづらく耐候性が高い材料です。しかし、アクリル板の品質によっては変色や白濁、亀裂が発生している商品も存在します。そこで、シーウォールのアクリル板（スミベックス®）を板厚（30mm・40mm・50mm・60mm）ごとに促進耐候性試験を実施することで、耐候性の高さを証明しています。

耐候性試験結果

アクリル板の厚みごとに促進耐候性試験を5000時間（10年相当）まで実施した。

(1) 評価サンプル

サイズ：60mm×60mm

品 種：スミベックス クリア 板厚 30mm、40mm、50mm
日プラ株式会社製 積層アクリル板 板厚 60mm（30mm 2枚積層）

(2) 評価項目と試験条件

① 評価項目

Tt（全光線透過率）、Haze（曇度）、透過YI（黄色度）

② 試験条件

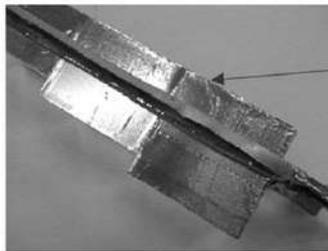
SWOM（サンシャインウエザオメーター）暴露条件

暴露時間：0h、500h、1000h、1500h、2000h、3000h、4000h、5000h

ブラックパネル温度：63°C±3°C

水噴霧サイクル：120分照射中18分間噴霧

※板厚が厚く、通常取付方法では試験体が装置壁面に接触する可能性があり試験体をフレームより20mm突出させ試験を実施した。



照射位置を
均一に調整

(3) 結果

SWOM 照射時間	Tt 全光線透過率 (%)				Haze 曇度 (%)				透過YI 黄色度			
	30mm	40mm	50mm	60mm	30mm	40mm	50mm	60mm	30mm	40mm	50mm	60mm
0 h	92.2	92.2	92.1	90.6	0.6	0.4	0.6	3.1	0.07	0.03	0.05	0.65
500 h	92.2	92.0	91.8	90.5	0.5	0.3	0.4	2.8	0.37	0.43	0.50	1.10
1000 h	92.2	91.9	91.7	90.2	0.7	0.6	0.7	3.1	0.64	0.64	0.62	1.33
1500 h	92.2	91.8	91.7	90.1	0.7	0.5	0.7	3.4	0.89	1.03	0.96	1.71
2000 h	92.2	91.8	91.6	90.2	0.7	0.6	0.6	3.0	0.87	1.15	1.06	1.81
3000 h	91.7	91.6	91.5	89.7	0.8	0.6	0.7	3.4	1.81	2.23	2.00	2.58
4000 h	91.5	91.1	90.9	89.3	1.6	1.7	1.8	3.7	2.50	3.00	2.70	3.20
5000 h	91.2	90.6	90.7	89.2	2.0	2.2	2.1	3.7	3.30	3.70	3.40	3.90

アクリル板

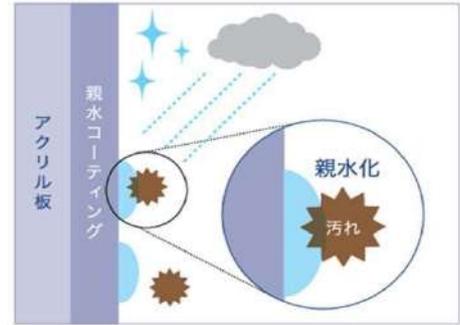
超親水加工

シーウォールのアクリル板には、住友化学株式会社の技術によりアクリル用の超親水コーティング加工を施すことが可能です。（※）線膨張係数が大きいアクリルにおいて、屋外での長期使用を想定して開発されています。

超親水コーティング効果により、雨が降ればアクリル板と汚れの間に水分が広がり、付着した汚れを洗い流すため、セルフクリーニング効果を発揮します。

また、結露や曇りを抑え、チリや埃の付着を防止する帯電防止効果もあるため、メンテナンスフリーで綺麗な状態を保つことができます。

（※）特殊加工アクリル板は標準仕様です。



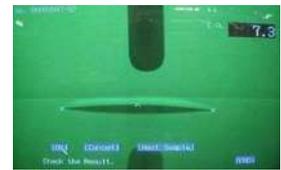
【親水性】

親水処理したアクリル板は水滴を形成せず、表面に水が広がります。これにより、雨水で汚れが自然に除去されます。

汎用アクリル板



超親水アクリル板

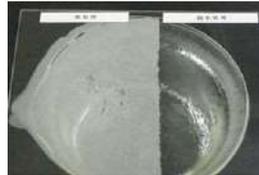


【防曇性】

結露や曇りを抑えます。

<実証実験>

50~60°Cのお湯の入ったビーカー上に乗せ曇り具合を確認。親水処理を行なった部分（右）は曇りが発生しにくいことがわかった。



【埃付着防止性】

表面抵抗が小さく帯電防止性があり、ほとんど埃が発生しません。

<実証実験>

アクリル板を垂直に立てタバコの灰がどの程度落ちるかを確認。親水処理を行った部分（右）は、灰は付着せずほとんど落下した。



屋外使用の追跡調査

超親水コーティングの効果持続について2010年から追跡調査を行っており、10年以上経過後もメンテナンスすることなく綺麗な状態を維持しており、効果を発揮していることを確認しています。（※）また、防汚性能評価試験にも合格しています。

（※）使用環境によるため効果持続を保証するものではありません。



兵庫県神戸市：日プラ(株)敷地内



2024年時点



広島県広島市：宇品港



2022年時点

試験成績書		
依頼者	住化アクリル販売株式会社 土研ヤマト 第2207号	
	代表取締役 吉野 晃徳 殿 東京都中央区日本橋小網町1-8 茅場町高木ビル2F	
商品名	スミベックス000 親水コート	
分類	室温硬化型無機系ガラスイオン樹脂塗料	
試験方法	透光防汚性能評価試験方法(密) 平成15年3月発行「土木用防汚材料に関する調査報告書」 (土木研究所資料 第388号より)	
試験結果	試験結果	基準値
	ΔL [*] 1.43	ΔL [*] 3.20以上
	透過率97.4%	透過率60%以上
		評価合格
試験片作製場所	日プラ株式会社 志度工場	
試験片作製月	2021年12月	
発行期間	2022年1月18日	
標記材料の試験結果は、上記の結果であることを証明する。		
2022年1月18日		

アクリル板

アクリル板の種類

シーウォールのアクリル板は、景観性を重視した「特殊加工アクリル板」と経済性を重視した「汎用アクリル板」の2種類から選択することができます。港湾・沿岸部では特殊加工アクリル板、河川では汎用アクリル板を標準仕様としていますが、目的や状況に応じて変更も可能です。

【特殊加工アクリル板】

- 景観性に優れる
- 防汚機能付き

日プラ株式会社で表面研磨を行う水族館仕様の特殊板です。アクリル板厚誤差を±1.0mm/枚まで研磨するため、景色の歪みが極めて小さいです。また、超親水加工（防汚機能）を施しているため、長期間クリアな視界を確保できます。

【汎用アクリル板】

- 経済性に優れる
- 量産が可能

一般的なアクリル板です。JIS規格でアクリル板の製造誤差は±3.5mm/枚まで許容されています。そのため、1枚の板の中で最大7mmの厚み差が発生する可能性があり、景色が歪むことがあります。

項目	汎用アクリル板 (経済性重視)	特殊加工アクリル板 (景観性重視)
材料メーカー	住友化学株式会社	住友化学株式会社
加工メーカー	協力会社	日プラ株式会社
板厚許容誤差	±3.5mm/枚 (JIS規格準拠)	±1.0mm/枚 ※1
表面研磨	なし	あり
上辺加工 (三方枠タイプ) (一方枠タイプ)	鏡面C5カット (機械仕上げ) 	鏡面R加工 (機械+人力仕上げ) 
景色の歪み	景色の歪みが大きい ※2 	景色の歪みが極めて小さい 
防汚機能	なし (付加可)	あり

※1 保証値ではありません。

※2 写真は一例です。

汎用アクリル板すべてで同様の現象が起こることを示すものではありません。

環境負荷低減

脱炭素社会の実現にむけて建設業界でも省エネを推進しています。シーウォールで使用しているアクリル板も例外ではありません。

化石資源を原料としたプラスチックについては、製造から使用後の処理までの過程で排出される温室効果ガス（GHG）を削減し、その再資源化を推進することが大切です。

シーウォールのアクリル板の製造元である住友化学株式会社では、アクリル樹脂を熱分解し、原料となるMMA（メチルメタクリレート）モノマーに高効率で再生する技術を株式会社日本製鋼所と共同開発し、アクリル樹脂を高品質に再生する技術の実証と量産化の検討を行っています。

再生したMMAモノマーは、化石資源を原料とした材料と同等の品質で、従来品と比べて製品ライフサイクル全体のGHG排出量を60%以上削減できる見込みです。

住友化学株式会社では、再資源化の仕組みづくりにも着手しており、水族館用パネルを製造する日プラ株式会社や、大手家電メーカーなどから廃材や使用済みアクリル樹脂を回収するとともに再資源化した樹脂の顧客開拓を行うなど、アクリル樹脂の資源循環システムの構築を加速しています。



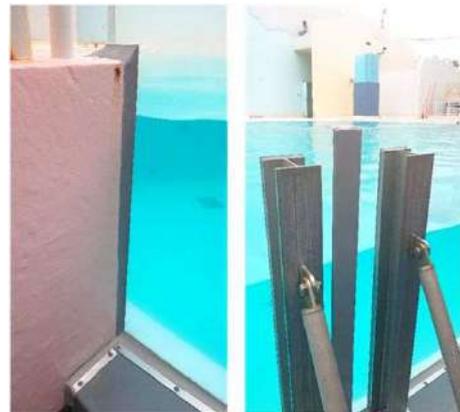
特殊コーキング材

水族館での使用実績

一方枠連結部に用いる「特殊コーキング材」は、信越化学株式会社の深部硬化性3成分形シリコンシーリング材「マリンシーラントGX」です。主に水族館の亚克力パネルとコンクリート壁の間の止水材として使用されています。巨大な水槽には、常時、巨大な水圧がかかっています（長期荷重）が、特殊コーキング材は何十年も破断することなく、水密性を保ち続けています。これら多くの実績が、特殊コーキング材の耐候性や耐久性の高さを証明しています。



屋外イルカプール



コンクリート壁部

亚克力同士の連結

ゴム物性試験

実際に長年使用した特殊コーキング材の物性についても確認しています。

(1) 試験概要

1974年に完成した「沖縄海洋水族館」に採用されたマリンシーラントGXの38年後の物性について確認する。

(2) 試験内容

- ①試験方法 JIS K 6249に準拠したゴム物性試験で行った。
- ②シーリング材 マリンシーラントGX
- ③サンプル 施工38年後の切り取りサンプル
最近の効果サンプル（送付品）
- ④試験体 ギョムを約2mm厚にスライスし、2号形ダンベルで打抜いた。
- ⑤硬さ試験 試験機 硬さ：硬度計（島津製作所）
引張特性：ストログラフ（東洋精機製作所）

(3) 試験結果

項目	硬さ	引張強さ	破断時伸び
サンプル	デュロメータA	Mpa	%
施工38年後品	13	1.9	1360
最近硬化品	14	1.7	1450
カタログ値	16	1.6	1500

(4) 考察

現場で切り取られた38年前に施工されたマリンシーラントGXのゴム物性は、最近の硬化品やカタログ値とほとんど違いがなく、良好なゴム物性であることが確認された。

性能試験

透明アクリル板を活用した水害対策製品は、歴史が浅く明確な設計基準がありません。そのため、シーウォールは様々な試験を実施して安全性を確認しています。

水密・漏水試験

【試験目的】

水害対策製品として必要な水密性が確保される構造であることを確認する。

【確認方法】

水圧試験を行い、漏水量を計測し水密性を確認する。

【試験内容】

(1) 試験要領

- ① 試験体及び水密蓋を試験装置架台に固定し水道水により水密蓋と試験体の間へ水を注入しエア抜きを行い満水にする。
- ② 水密蓋の上段、中段、下段に取り付けられた圧力計で試験圧力を確認する。
- ③ 漏水量を経過時間で測定する。

(2) 試験スケジュール

1日目				2日目				
10:00	→	16:00	→	10:00	→	16:00	→	10:00
試験開始	(6H)	6時間後 漏水量測定	(18H)	24時間後 漏水量測定	(6H)	30時間後 漏水量測定	(18H)	48時間後 漏水量測定

(3) 試験圧力

水深6m、10m相当の各圧力で実施する。

注) 漏水により圧力が低下しない様にバルブ開度及びレギュレータにて調整する。

(4) 漏水量測定方法

漏水を採取しデジタルはかりで測定する。

(5) 経過時間確認方法

電波時計にて確認する。

(6) 試験日数

各試験圧力で2日間(48時間)、計4日間で試験を行う。

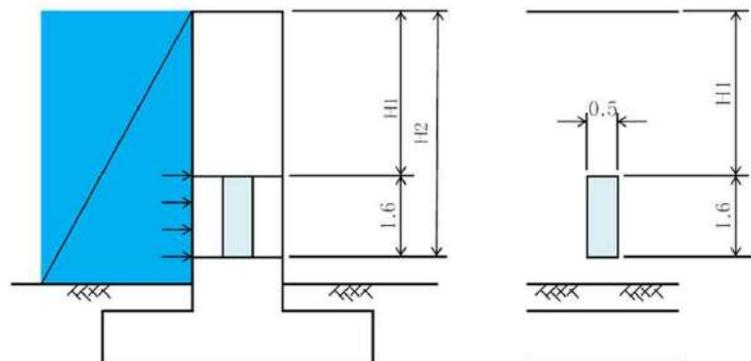
(7) 試験モデル

シーウォール設置下端の水深を6m及び10mと想定した場合の試験を行う。

水道水の試験であるため各水圧計の理論値は以下となる。

- ・ 上段圧力計 $P=H1 \times q \times 1/1000$
- ・ 中段圧力計 $P=(H1+0.8) \times q \times 1/1000$
- ・ 下段圧力計 $P=H2 \times q \times 1/1000$

q: 海水比重10.1kN/m³相当

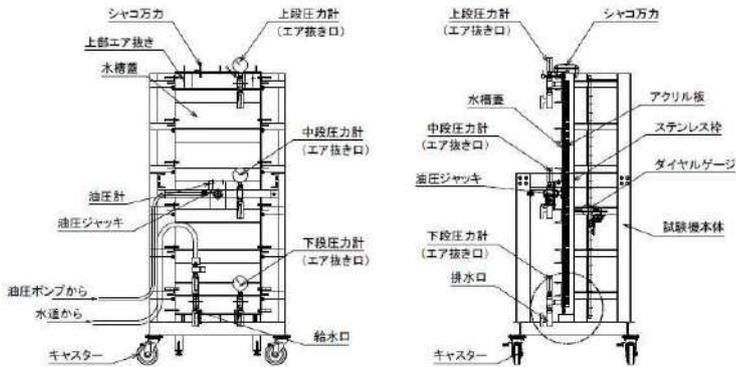


試験モデル (イメージ)

性能試験

水密・漏水試験

【試験装置及び試験写真】

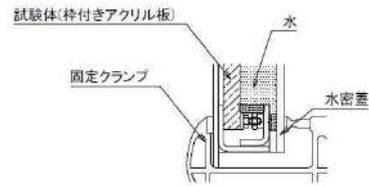


試験装置（正面図・断面図）



試験体 圧力計側

試験体 アクリル側



試験装置（枠部詳細図）

【試験結果】

試験日程：2015年3月2日～6日

(1) 試験圧力 水深H2=6m・海水比重10.1kN/m3相当

単位：cc

- ・上段圧力計計測値 0.044 MPa
- ・中段圧力計計測値 0.053 MPa
- ・下段圧力計計測値 0.061 MPa

	3月2日		3月3日		3月4日
	10:00 開始	16:00 6 h 後	10:00 24 h 後	16:00 30 h 後	10:00 48 h 後
漏水量累計	—	0	0	0	0

(2) 試験圧力 水深H2=10m・海水比重10.1kN/m3相当

単位：cc

- ・上段圧力計計測値 0.085 MPa
- ・中段圧力計計測値 0.093 MPa
- ・下段圧力計計測値 0.101 MPa

	3月4日		3月5日		3月6日
	10:00 開始	16:00 6 h 後	10:00 24 h 後	16:00 30 h 後	10:00 48 h 後
漏水量累計	—	530	2423	3146	5262

(3) 時間当たりの漏水量

開口が0.5mで開口1mの時間当たりの漏水量は、

$$Q_{hr} = \frac{Q_{\Sigma} \times 1}{hr_{\Sigma} \times W} = \frac{5262 \times 1}{48 \times 3600 \times 0.5}$$

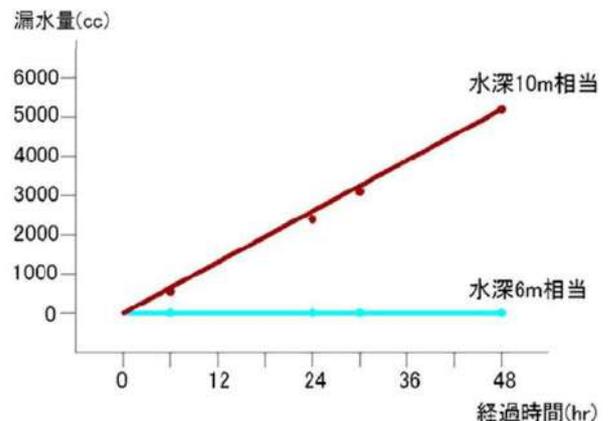
$$= 0.061 \text{ cc/m/s} \quad (6.100 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{m/s})$$

Q_{hr} ：1秒間1mあたりの漏水量 (cc/m/s)

Q_{Σ} ：経過時間後の漏水量の合計 (cc)

hr_{Σ} ：経過時間 (s)

W ：窓開口 (m)



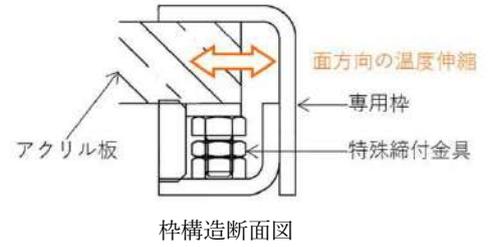
経過時間による漏水量の変化グラフ

性能試験

熱膨張試験

【試験目的】

シーウォールの枠部分は右図のように、アクリル板の温度伸縮を吸収する構造となっている。そのため、アクリル板の温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であることを確認する。



【確認方法】

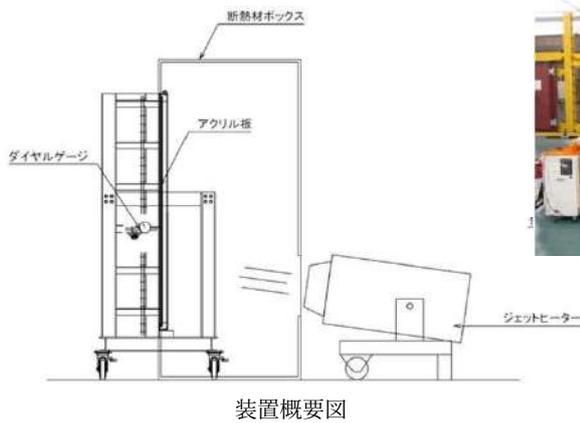
加熱試験を行い、枠にて伸縮を吸収し、アクリル板にたわみが生じないことを確認する。

【試験内容】

試験要領

- ① 試験体を試験装置架台に固定し断熱材で囲い、測定基準線をマーキングし、ジェットヒーターで目標の表面温度まで加熱する。
- ② 表面温度の目標は、本技術の適用範囲である上限の50°Cとした。
- ③ アクリル板表面温度を、確認し測定基準線の測定で枠構造の温度伸縮吸収の判定を行う。

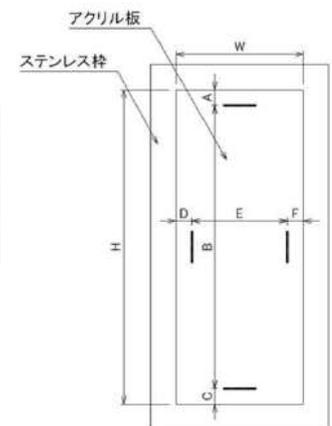
【試験装置及び試験写真】



【試験結果】

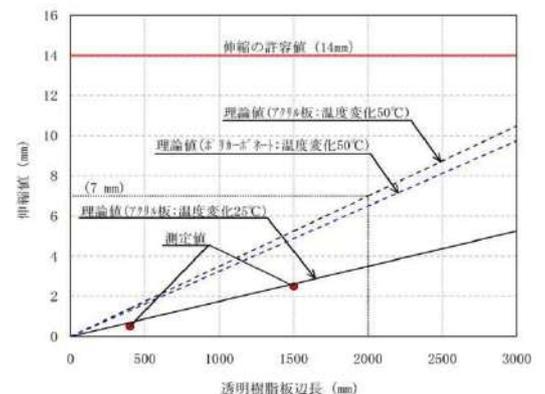
	温度 °C	アクリル板 (mm)									
		(A)	(B)	(C)	変位量 測定値	理論値	(D)	(E)	(F)	変位量 測定値	理論値
加熱前	25	50.0	1500.0	50.0	-	-	50.0	400.0	50.0	-	-
加熱後	50	47.5	1502.5	50.0	2.5	2.6	50.0	400.5	49.5	0.5	0.7

	温度 °C	ステンレス枠 (mm)					
		(W)	変位量 測定値	理論値	(H)	変位量 測定値	理論値
加熱前	25	1600	-	-	500.0	-	-
加熱後	50	1600	0.0	0.7	500.0	0.0	0.2



理論値によるアクリル辺長と温度伸縮量の関係を示す。温度変化25°Cにおける理論値と、本実験での実測値は、ほぼ一致している。

よって、アクリルの標準サイズ (1000mm×2000mm) においても、温度変化25°C (加熱前の表面温度が25°Cならば50°Cまでの変化) 及び温度変化50°C (加熱前の表面温度が0°Cならば50°Cまでの変化) が生じた場合のアクリルの伸縮を十分許容できることが分かる。



性能試験

載荷試験（三方枠タイプ）

【試験目的】

実際の荷重を想定し載荷した場合の亚克力板のたわみ量を確認する。

【確認方法】

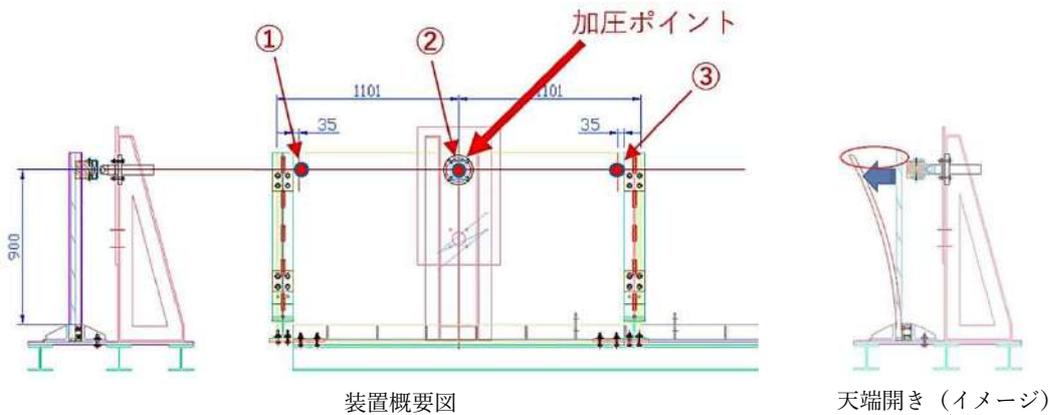
水流側より油圧ジャッキで水平荷重390N/m（40kgf/m）以上の荷重を与える。

【試験内容】

試験要領

- ① 試験体を試験装置架台に固定し、油圧ジャッキで加圧する。
- ② 計測レベルH=900mmの位置で、両端部より35mmと中心部分の計3か所でたわみを計測し、天端の目地開きも計測する。
- ③ 圧力ごとに除荷後の亚克力板の変位量を確認する。

【試験装置及び試験写真】



<参考>

防護柵設置基準…水平荷重390N/m（40kgf/m）
 計算推力…圧力×断面積（シリンダ内径38mm）
 1 Mpa≒10.2kgf/cm²



【試験結果】

油圧ジャッキの限界まで載荷したが、亚克力板は破損せず除荷後は形状が回復した。

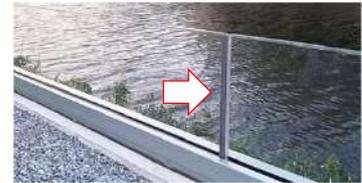
圧力 (Mpa)	計算推力 (kg)	たわみ (mm)						天端目地開き (mm)						パネル破損	判定	
		加圧時			除荷3分後			加圧時			除荷3分後					
		①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③			
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	なし	OK NG
1	113	0.0	8.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	なし	OK NG
2	226	1.5	22.0	2.0	0.0	0.0	0.5	1.0	25.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	なし	OK NG
3	339	2.5	35.0	3.0	0.0	0.0	0.5	2.0	40.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	なし	OK NG
4	452	4.0	46.0	5.0	1.0	4.5	1.0	5.0	52.0	3.0	0.5	5.0	0.0	0.0	なし	OK NG
5	565	5.5	56.5	5.5	0.5	5.5	1.0	5.5	63.0	4.0	1.0	5.0	0.0	0.0	なし	OK NG
6	678	5.5	64.5	5.0	1.5	6.5	1.0	6.5	73.0	5.0	1.0	7.0	0.0	0.0	なし	OK NG
7	791	6.5	72.0	6.0	1.0	2.0	1.0	6.0	81.0	5.0	0.0	2.5	0.0	0.0	なし	OK NG
8	904	6.0	80.0	7.0	0.0	3.0	0.0	6.0	90.0	5.0	0.0	3.0	0.0	0.0	なし	OK NG
9	1017	7.0	91.0	6.0	0.0	2.0	0.5	6.0	97.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	なし	OK NG
10	1130	6.0	92.0	7.0	0.0	3.5	1.0	9.0	106.0	7.5	0.0	3.0	0.0	0.0	なし	OK NG

性能試験

載荷試験（一方枠タイプ）1

【試験目的】

実際の荷重を想定し載荷した場合の亚克力板のたわみ量と連結部の特殊コーキング材の破断・漏水の有無を確認する。3成分形シリコンシーリング材を使用し、連結部サイズは深さ30mm（亚克力板厚み分）、幅20mmとする。



連結コーキング部

【確認方法】

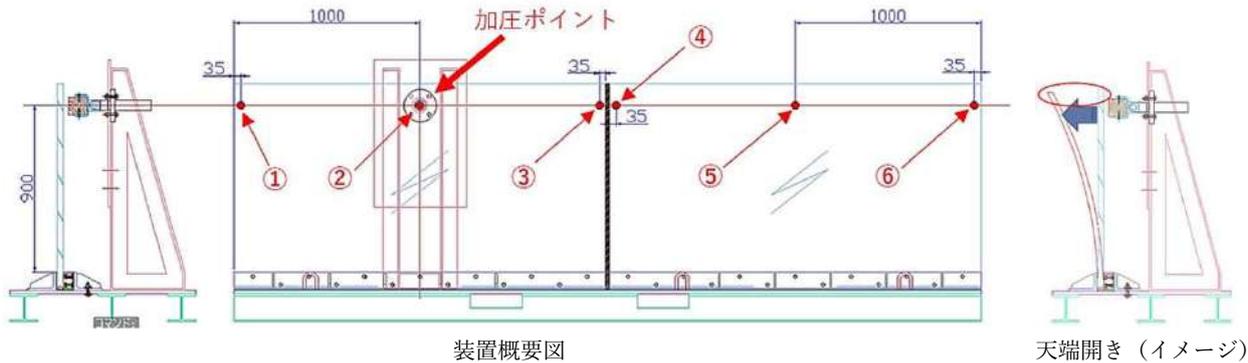
シーウォール2台を連結し、連結部に水を溜めた上で、一方の亚克力板のみ水流側より油圧ジャッキで水平荷重390N/m（40kgf/m）以上の負荷を与える。

【試験内容】

試験要領

- ① 試験体を試験装置架台に固定し、連結部に水を溜め油圧ジャッキで加圧する。
- ② 一方の亚克力板のみ、計測レベルH=900mmの位置で、両端部より35mmと中心部分の計3か所でたわみを計測し、天端の目地開きも計測する。
- ③ 圧力ごとに除荷後の亚克力板の変位量を確認する。

【試験装置及び試験写真】



装置概要図

天端開き（イメージ）

<参考>

防護柵設置基準…水平荷重390N/m（40kgf/m）
 計算推力…圧力×断面積（シリンダ内径38mm）
 1 Mpa ≒ 10.2kgf/cm²



加圧時



特殊コーキング材伸び

【試験結果】

亚克力板は破損せず除荷後は形状が回復し、連結部の特殊コーキング材も破断しなかった。

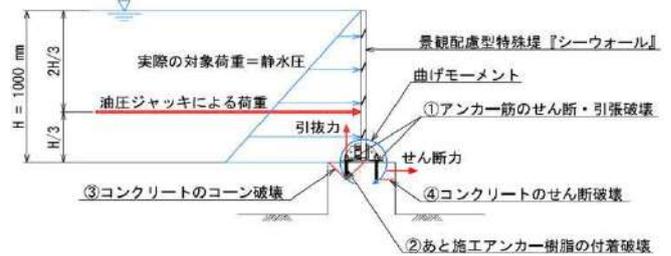
圧力 (Mpa)	計算推力 (kg)	たわみ(mm)						天端目地開き (mm)						コーキング破断	判定
		①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥		
0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	あり(なし)	(OK) NG
1	113	13.6	18.2	9.8	4.6	2.4	0.3	16.0	20.0	10.0	4.0	2.0	1.0	あり(なし)	(OK) NG
	除荷3分後	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	あり(なし)	(OK) NG
2	226	32.1	41.0	18.5	11.0	4.0	2.0	38.0	46.0	24.0	12.0	4.5	1.0	あり(なし)	(OK) NG
	除荷3分後	0.2	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.5	1.0	あり(なし)	(OK) NG
5	565	72.0	92.0	48.0	25.0	8.0	3.0	73.0	109.0	58.0	27.0	9.0	3.0	あり(なし)	(OK) NG
	除荷3分後	0.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	あり(なし)	(OK) NG

性能試験

載荷試験（一方枠タイプ）2

【試験目的】

アンカー筋の所要値を満足する計算理論の実証と安全性の確認を行うとともに、対象荷重以上の荷重を作用させた場合の粘り強さも確認する。試験体に一時的な静的荷重を加えて構造物に及ぼす影響（変形・破壊）を確認する。



【確認方法】

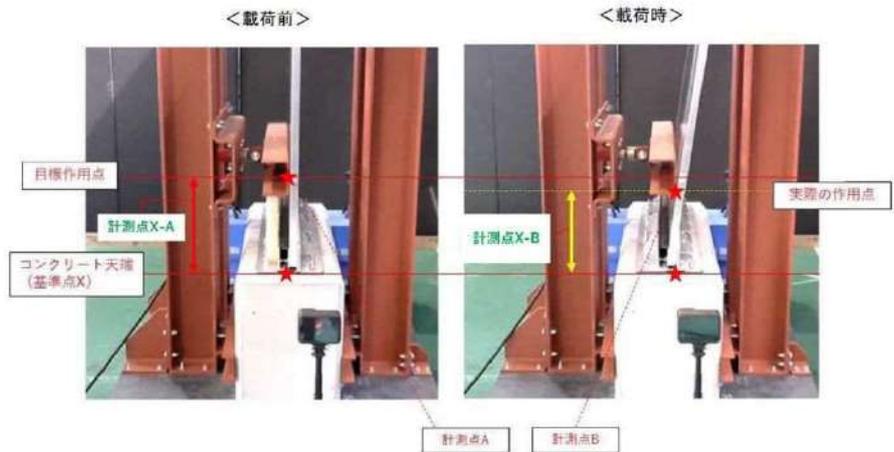
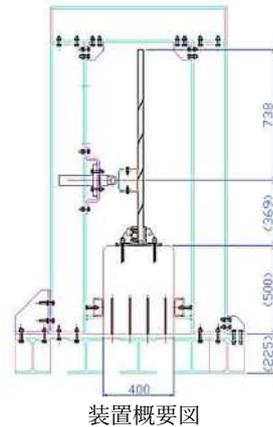
静水圧により生じるせん断力・曲げモーメントと等しい断面力を油圧ジャッキにより与える。

【試験内容】

試験要領

- ① 無筋コンクリート（18N）に試験体をアンカー筋で固定する。
- ② 試験体の天端から底辺までの距離2/3の位置で線荷重で加圧を行う。
- ③ 圧力ごとにアクリル板のたわみを計測し、固定部の状態を定点で観察する。

【試験装置及び試験写真】



【試験結果】

下表の載荷圧力の『4.5MPa』がほぼ設計外力（H=1.00mの静水圧）と等しい荷重である（青着色部：■）。設計外力の5倍程度の荷重が作用した場合でも、アクリル板は変位したものの破壊せず、枠・コンクリートも同様に破壊しなかった（赤着色部：■）

載荷圧力 P		作用高 H (m)	モーメント P・H (kN・m)	設計水平力※との倍率	設計モーメント※との倍率	発生モーメント相当の静水圧高さ (m)	枠・コンクリートの変状確認
(MPa)	(kN)						
1.0	1.134	0.318	0.361	0.22	0.21	0.60	なし
4.5	5.103	0.318	1.623	1.01	0.96	0.99	なし
9.0	10.206	0.318	3.246	2.02	1.93	1.24	なし
13.5	15.309	0.318	4.868	3.03	2.89	1.42	なし
18.0	20.412	0.318	6.491	4.04	3.86	1.57	なし
18.0	20.412	0.303	6.185	4.04	3.67	1.54	なし
21.5	24.381	0.303	7.387	4.83	4.39	1.64	なし
25.0	28.350	0.303	8.590	5.61	5.10	1.72	なし

※H=1.00m時の静水圧による断面力 $H=1/2 \times 1.00 \times 10.1 \times 1.00=5.05 \text{ kN}$
 $M=1/6 \times 1.00 \times 10.1 \times 1.00^2=1.683 \text{ kN} \cdot \text{m}$

性能試験

耐衝撃性試験

【試験目的】

漂流物が衝突するなどの想定外の荷重が作用した場合の状態を確認する。

【確認方法】

シーウォール実製品を使用し、鉄球による加撃体で衝撃を与える（NEXCO試験法902）。

【試験内容】

(1) 試験項目

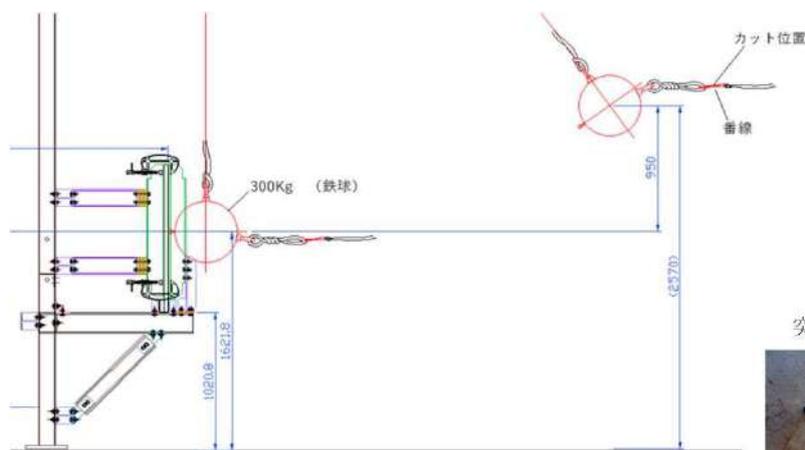
シーウォールで使用するアクリル板で最も薄い $t=30\text{mm}$ を用い、三方枠タイプと一方枠連結タイプの標準寸法で実施する。

一方枠は連結部の特殊コーキング破断の有無も確認する。

(2) 試験要領

- ① 開口中心部に300kgの突起付き鉄球を加撃する。
- ② 加撃位置より鉛直方向に950mmの高さから振り子式に加撃する。
- ③ 実製品サイズ アクリル板開口 $W=2000\text{mm}$ 、 $H=1000\text{mm}$ 、公称板厚 $t=30\text{mm}$

【試験装置及び試験写真】



装置概要図



三方枠タイプ



一方枠連結タイプ

【試験結果】

三方枠タイプは突起部によりアクリル板表面がわずかに削れた。一方枠連結タイプはアクリル板に突起部が擦れた後はあったものの破片の突起部への付着は無し。いずれもアクリル板の破壊や支柱からの脱落はなく、想定外の大きな荷重にも耐えることが確認できた。

項目	測定結果	
	三方枠タイプ	一方枠連結タイプ
破片の飛散距離	0m (突起部に付着)	0m
透明部材の破片総重量	0.01 g 以下 (0.01スケールでは計測不可)	0 g
透明部材の飛散防止率※1	99.90%	—
透明部材の破片最大重量	0.01 g 以下 (0.01スケールでは計測不可)	—
試験材の状態 (支柱からの脱落)	有・ 無	有・ 無

※1: $((\text{部材重量}) - (\text{破片総重量})) / (\text{部材重量}) \times 100$

その他の試験

燃焼試験

【試験目的】

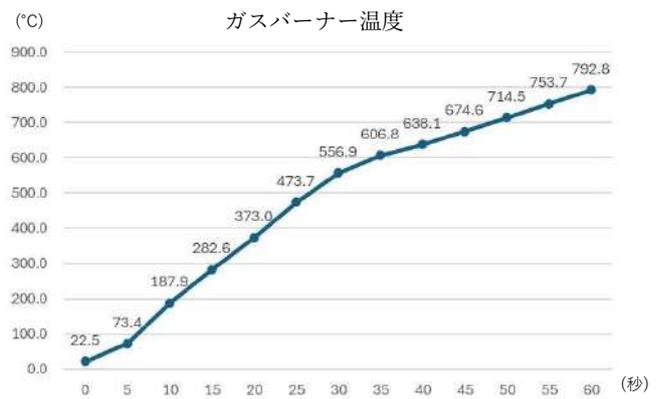
いたづらを想定して、火気（タバコ、花火など）に対するアクリル板と一方枠連結部の特殊コーキング材の燃焼性を確認する。

【確認方法】

ガスバーナー、ライター、タバコを用いてそれぞれ着火までの時間と消火方法を確認する。

JIS A 6:1965 着火試験-日本塗料工業会規格

	着火温度
メタクリル樹脂板 (アクリル板)	380°C
しな合板	290°C



【試験内容】

(1) ガスバーナー

- ① アクリル板と特殊コーキング材の燃焼性を5秒間隔で確認する。
- ② ガスバーナーと燃焼対象物の間隔は50mmとし、加熱箇所は都度変更して行う。

(2)ライター

市販のライターを用いて、アクリル板の燃焼性を5秒間隔で確認する。

(3) タバコ

アクリル板と特殊コーキング材の上にタバコを置き、10分間放置し状態を確認する。

【試験結果及び試験写真】

(1) ガスバーナー

アクリル板

着火… 30秒で目視により着火確認

消火… 放置すると燃焼継続するが
手で水をかける程度で消火

特殊コーキング材

着火… 60秒で目視により着火確認

消火… 一時燃焼したが自己消化



アクリル板燃焼の様子 (左：ガスバーナー、右：ライター)

(2)ライター

アクリル板

着火… 120秒で目視により着火確認

消火… 放置すると燃焼継続するが
手で水をかける程度で消火



特殊コーキング材の燃焼と消火

(3) タバコ

着火は見られなかったがいずれも焦げ跡が確認できた。

特殊コーキング材

アクリル板



FEM解析による構造計算

アクリル板厚の決定

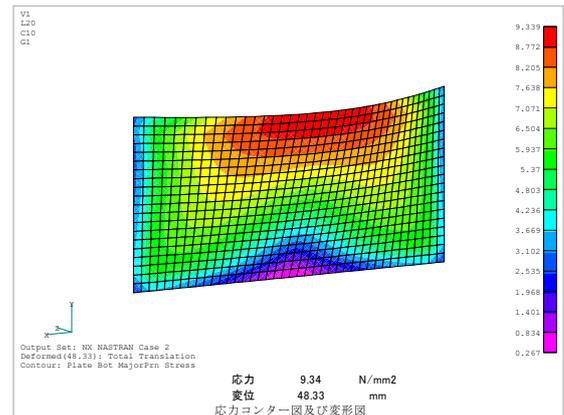
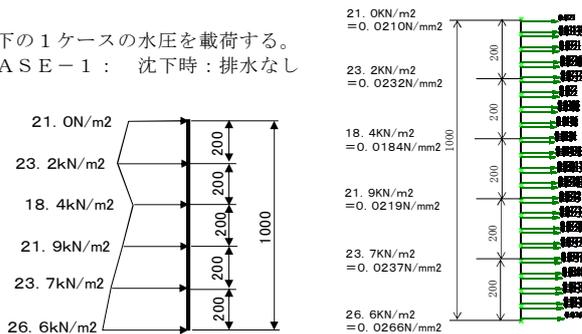
シーウォールはアクリル板の温度伸縮を吸収するために、アクリル板を拘束する特殊締付金具は試験によって得られた数値に基づき固定条件を設定しています。
その固定条件（回転バネ値）を用いたFEM解析で構造計算を行い、設計外力に対して応力・変位ともに基準を満たすアクリル板厚を決定しています。

【事例】

兵庫県芦屋市南芦屋浜のFEM解析結果

1. 水圧

以下の1ケースの水圧を載荷する。
CASE-1: 沈下時: 排水なし



板厚 (mm)	荷重ケース	応力 (N/mm ²)		判定	変位 (mm)		判定
		解析結果	許容値		解析結果	許容値	
56.5	1	9.34	11.3	OK	48.33	66.7	OK

特殊コーキング材の強度

一方枠タイプの連結部の強度について、静水圧・衝突荷重に対し照査を行い、より条件が厳しい「衝突荷重に対する照査結果」の内容を記載します。

【照査内容】

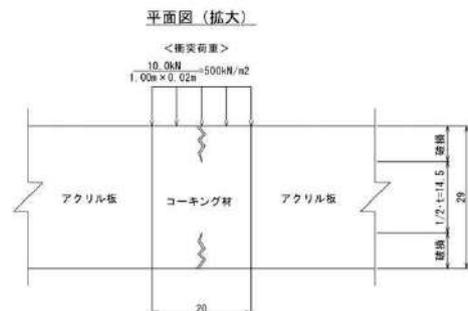
- ① コーキング部に直接、衝突荷重 1.0t (10.0kN) が作用するものと仮定する。
- ② コーキング材自体の応力照査と併せて、支点反力を用いて接着照査も行う。
- ③ コーキング全体に等分布荷重として作用させる。

【照査結果】

(1) コーキング材が健全な場合 (t=29mm)

項目	解析値	許容値	判定	
発生応力	引張側最大 (N/mm ²)	0.268	2.40	OK
	圧縮側最大 (N/mm ²)	0.520	2.40	OK
接着力	最大反力 (N/mm ²)	0.6942	0.885	OK

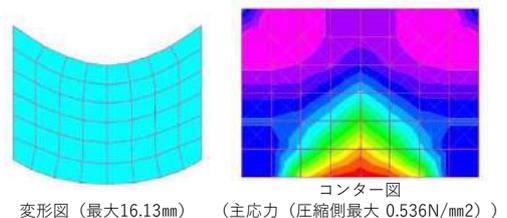
※接着力の許容値は浸水劣化時の値 ※許容値は短期荷重とし×1.5の値



(2) コーキング材が一部破損している場合 (t=14.5mm)

項目	解析値	許容値	判定	
発生応力	引張側最大 (N/mm ²)	0.415	2.40	OK
	圧縮側最大 (N/mm ²)	0.536	2.40	OK
接着力	最大反力 (N/mm ²)	0.8060	0.885	OK

※接着力の許容値は浸水劣化時の値 ※許容値は短期荷重とし×1.5の値



以上のことから、一方枠タイプ連結部の特殊コーキング材は、標準仕様寸法 (t=29mm) の50%が欠損した状態でも必要な水密性が確保できるとの結果が得られました。

シーウォール導入場所一覧

2024/11/29 時点

1	設置箇所	兵庫県神戸市中央区：神戸港	 
	施工時期	平成20年6月	
	発注者	神戸市みなと総局	
	堤防高	H=1.50m	
	サイズ	H1210×W1220	
	備考	いたづら防止シート貼付	
2	設置箇所	広島県広島市南区：宇品港	 
	施工時期	平成22年8月	
	発注者	広島県広島港湾振興事務所	
	堤防高	H=2.20m	
	サイズ	H1400×W1800／H1347×W1200	
	備考		
3	設置箇所	大分県別府市：別府港	 
	施工時期	平成26年3月	
	発注者	九州地方整備局	
	堤防高	H=1.70m	
	サイズ	H810×W2960	
	備考	私有地（立入不可）	
4	設置箇所	岩手県釜石市：釜石港	 
	施工時期	平成28年3月	
	発注者	岩手県沿岸広域振興局	
	堤防高	H=6.10m	
	サイズ	H1660×W560／H1660×W1050	
	備考		
5	設置箇所	広島県福山市：福山港	 
	施工時期	平成29年6月	
	発注者	広島県東部建設事務所	
	堤防高	H=1.45m	
	サイズ	H500×W8000	
	備考	私有地（連絡後立入可）	
6	設置箇所	兵庫県神戸市兵庫区	 
	施工時期	平成30年3月	
	発注者	神戸市みなと総局	
	堤防高	H=1.0m	
	サイズ	H900×W2000／H850×W2000	
	備考		
7	設置箇所	兵庫県洲本市：洲本港	 
	施工時期	平成30年6月	
	発注者	兵庫県淡路県民局	
	堤防高	H=1.2m	
	サイズ	H500×W8000	
	備考		
8	設置箇所	岡山県津山市：一級河川宮川	 
	施工時期	令和1年6月	
	発注者	岡山県美作県民局	
	堤防高	H=1.7m	
	サイズ	H500×W1000	
	備考		

シーウォール導入場所一覧

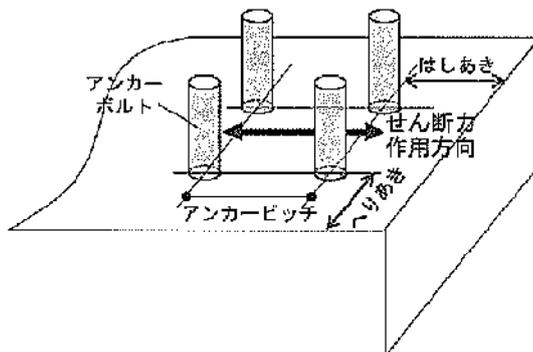
2024/11/29 時点

9	設置箇所	宮城県気仙沼市：魚浜港	 
	施工時期	令和1年7月	
	発注者	宮城県気仙沼地方振興事務所	
	堤防高	H=3.7m	
	サイズ	H1000×W2000	
	備考		
10	設置箇所	徳島県	 
	施工時期	令和2年3月	
	発注者	一般企業	
	堤防高	H=4.1m	
	サイズ	H1500×W2000	
	備考	私有地（立入不可）	
11	設置箇所	静岡県焼津市：焼津港	 
	施工時期	令和2年3月	
	発注者	静岡県焼津漁港管理事務所	
	堤防高	H=1.2m	
	サイズ	H1000×W2000	
	備考		
12	設置箇所	宮城県気仙沼市：魚市場前	 
	施工時期	令和2年12月	
	発注者	宮城県気仙沼地方振興事務所	
	堤防高	H=3.2m	
	サイズ	H2000×W1000	
	備考		
13	設置箇所	兵庫県芦屋市：南芦屋浜	 
	施工時期	令和3年3月	
	発注者	兵庫県尼崎港管理事務所	
	堤防高	H=1.5m	
	サイズ	H1000×W2000	
	備考		
14	設置箇所	兵庫県 民間施設	 
	施工時期	令和4年5月	
	発注者	一般企業	
	堤防高	H=1.5m	
	サイズ	H1000×W2000	
	備考	私有地（連絡後立入可）	
15	設置箇所	宮城県名取市：関上港	 
	施工時期	令和5年2月	
	発注者	宮城県仙台地方振興事務所	
	堤防高	H=2.2m	
	サイズ	H1000×W2500	
	備考		
16	設置箇所	埼玉県川口市：一級河川菖蒲川	 
	施工時期	令和5年12月	
	発注者	埼玉県さいたま県土整備事務所	
	堤防高	H=1m	
	サイズ	H500×W2000	
	備考		

あと施工アンカーの検討

(1) 構造細目

あと施工アンカー部の設計にあたっては、アンカーピッチ、アンカーボルトの呼び径、はしあき寸法、へりあき寸法、母材のコンクリートの残り厚さは、以下の細目に従うものとする。



No.	細目
1	アンカーピッチは、アンカーボルトの呼び径の5倍以上とする。
2	はしあき寸法は、アンカーボルトの呼び径の3倍以上とする。
3	へりあき寸法は、アンカーボルトの呼び径の3倍以上とする。
4	アンカー施工時の母材残り厚さは30mm以上とする。

出典:「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案)P.52」より

※No. 1～3について、あと施工アンカーのアンカーピッチおよびはしあき寸法の最小値は、コンクリートのひび割れ防止を目的として、また、へりあき寸法の最小値は、支圧力の負担領域の重なり合いや減少による耐力低下の防止、ひび割れ防止を目的として規定したものである。

※No. 4について、アンカー施工時の穿孔した孔底から母材の反対側表面までの残り厚さは30mm以上とする。これは、穿孔時やアンカー施工時に母材にひび割れが発生するのを防ぐためである。

(2) 許容応力に対する検討

あと施工アンカー部の破壊に対する検討は、断面力が、許容引張力 T_a 、許容せん断力 V_a 以下であることを確かめることにより行うものとする。

$$R \leq R_a$$

ここに、 R : 断面力 (軸引張力、せん断力に対して求める)
 R_a : 許容値 (軸引張力、せん断力に対して求める)

1) 軸引張力に対する許容引張力の算出

軸引張力に対する許容引張力は、降伏により決まる許容引張力 T_{a1} 、コンクリートコーン状破壊により決まる許容引張力 T_{a2} 、付着強度より決まる許容引張力 T_{a3} のうち最も小さい値を採用する。

$$T_a = \min (T_{a1}、T_{a2}、T_{a3})$$

i) 降伏により決まる許容引張力の算出式

$$T_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_u \cdot s_c \alpha$$

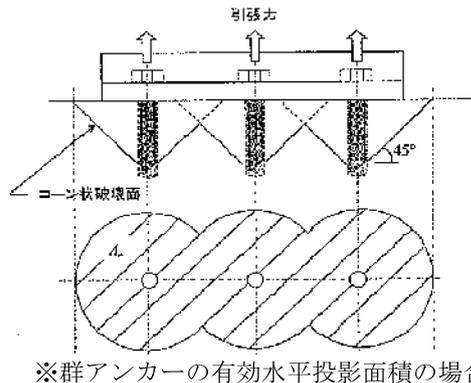
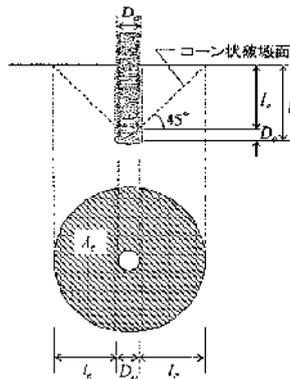
ここに、 T_{a1} : 降伏により決まる許容引張力 (N/本)
 $s \cdot \sigma_u$: アンカー筋の許容引張応力度 (N/mm²)
 $s_c \alpha$: アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面のうち小さいほうの値をとる (mm²)
 ϕ_1 : 低減係数
 (短期 1.5、長期 1.0)

ii) コンクリートコーン状破壊により決まる許容引張力の算出式

$$T_{a2} = \phi_2 \cdot \sqrt{(\sigma_{ck} / 21)} \cdot A_c$$

$$A_c = \pi \cdot l_e \cdot (l_e + D) \quad \text{※有効水平投影面積が重ならない場合}$$

ここに、 T_{a2} : コンクリートコーン状破壊により決まる許容引張力 (N/本)
 ϕ_2 : 低減係数
 (短期 1/2、長期 1/3)
 σ_{ck} : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)
 A_c : コンクリートコーンの有効水平投影面積 (mm²)
 l_e : 有効埋込長さ (mm)
 D : 穿孔径 (mm)



iii) 付着強度により決まる許容引張力の算出式

$$T_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot D \cdot l_e$$

ここに、 T_{a3} : 付着強度により決まる許容引張力 (N/本)

ϕ_3 : 低減係数

(短期 1/2、長期 1/3)

D : 穿孔径 (mm)

l_e : 有効埋込長さ (mm)

τ_a : 樹脂とコンクリートとの許容付着応力度 (N/mm²)

$$\tau_a = 10 \sqrt{\frac{F_c}{21}}$$

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

2) せん断力に対する許容せん断力の算出式

せん断力に対する許容せん断力は、降伏により決まる許容せん断力 V_{a1} コンクリートコーン状破壊により決まる許容せん断力 V_{a2} のうち最も小さい値を採用する。

$$V_a = \min (V_{a1}、V_{a2})$$

i) 降伏により決まる許容せん断力の算出式

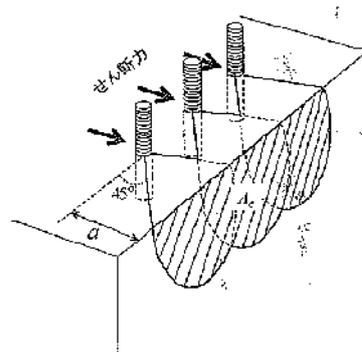
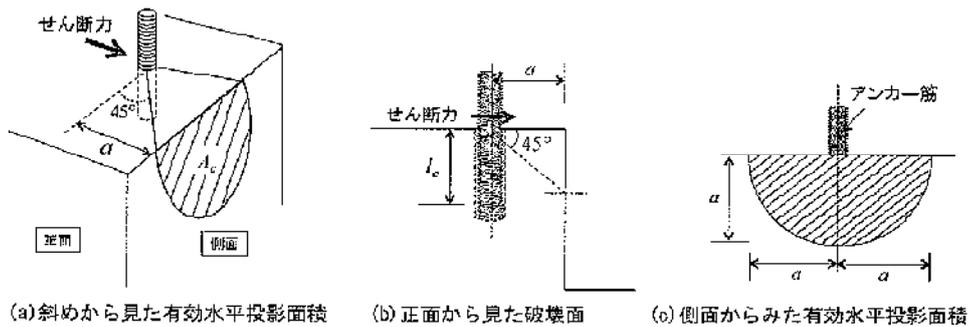
$$V_{a1} = \phi_{s1} \cdot \tau_B \cdot s_c \alpha$$

- ここに、 V_{a1} : 降伏により決まる許容せん断力
 τ_B : アンカー筋の許容せん断応力度 (N/mm²)
 $s_c \alpha$: アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面のうち小さいほうの値をとる (mm²)
 ϕ_{s1} : 使用期間の長さの影響を表す係数
 (短期 1.5、長期 1.0)

ii) コンクリートコーン状破壊により決まる許容引張力の算出式

$$V_{a2} = \phi_{s2} \cdot \sqrt{(\sigma_{ck} / 21)} \cdot A_c$$

- ここに、 V_{a2} : コンクリートコーン状破壊により決まる許容引張力 (N/本)
 ϕ_{s2} : 低減係数
 (短期 1/2、長期 1/3)
 σ_{ck} : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)
 A_c : コンクリートコーンの有効水平投影面積 (mm²)



※群アンカーの有効水平投影面積の場合

3) 許容応力度の設定

許容応力度については、以下のとおり設定する。

材質	許容引張応力 σ_u (N/mm ²)	許容せん断応力 τ_B (N/mm ²)
鉄筋 (SD295A)	176	100
鉄筋 (SD345)	196	110
ねじボルト	140	80

(3) 軸引張力とせん断力を同時に受ける場合（複合応力）の検討

軸引張力とせん断力を同時に受ける場合のあと施工アンカー部の破壊に対する安全性の検討は以下に示す式を満足することを確認することにより行ってよい。

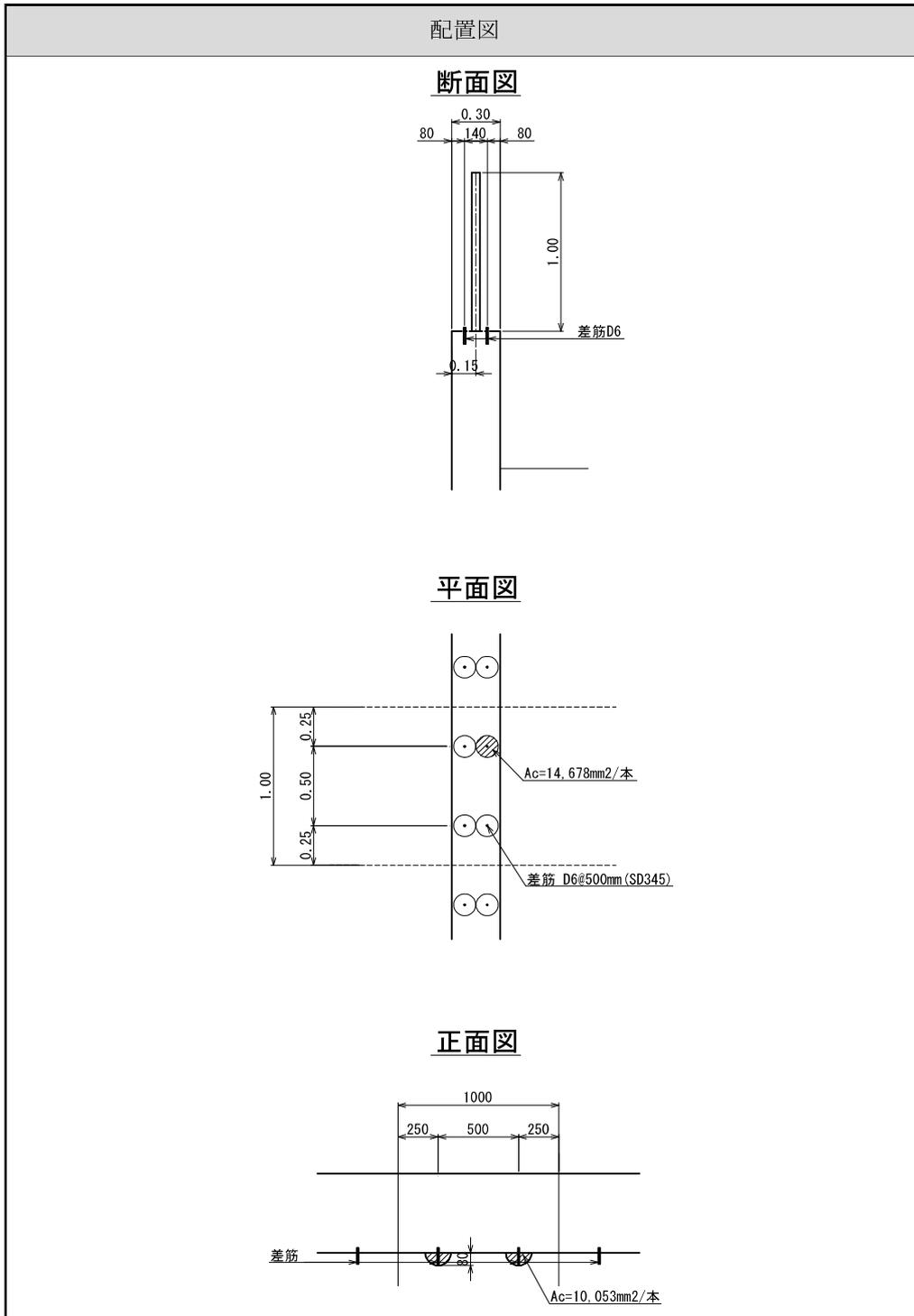
$$\left(\frac{T}{T_a}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_a}\right)^2 \leq 1.0$$

ここに、 T : 設計軸引張力
V : 設計せん断力
T_a : 許容引張力
V_a : 許容せん断力

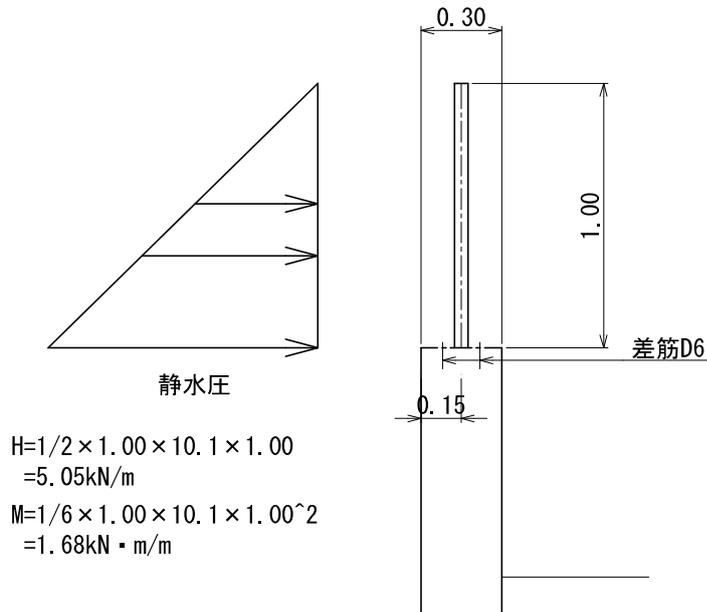
(4) 設計条件の整理

1) あと施工アンカー配置図

下図のとおり配置するものとして、検討を行う。



2) せん断力・軸引張力の算出



せん断力

$$V = V' / N$$

$$V' = H$$

軸引張力

$$T = T' / N$$

$$T' = M / x$$

- ここに、
- V : アンカー筋1本当りのせん断力 (kN/本)
 - V' : 単位m当りのせん断力 (kN/m)
 - T : アンカー筋1本当りの軸引張力 (kN/本)
 - T' : 単位m当りの軸引張力 (kN/m)
 - N : 単位m当りのアンカー筋本数 = 4 本
 - H : 水平力 (kN/m)
 - M : 曲げモーメント (kNm/m)
 - x : 支点からアンカー筋重心までの距離 (m) = 0.15 m

	設計外力 (H, M)	せん断力・軸引張力	
		単位m当り (kN/m)	1本当り (kN/本)
水平力	5.050	5.050	1.263
曲げモーメント	1.680	11.200	2.800

(5) 軸引張力に対する検討

アンカーは異形鉄筋 D6 を使用する。

$$l_e = 64 \text{ mm} \quad D_a = 6 \text{ mm}$$

$$T_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_u \cdot s c \alpha$$

$s \sigma_u$ (N/mm ²)	$s c \alpha$ (mm ²)	ϕ_1	T_{a1} (N/本)
196	31.67	1.0	6,207

$$T_{a2} = \phi_2 \cdot \sqrt{(\sigma_{ck} / 21)} \cdot A_c$$

$$A_c = \pi \cdot l_e \cdot (l_e + D_a)$$

A_c (mm ²)	σ_{ck} (N/mm ²)	ϕ_2	T_{a2} (N/本)
14,678	18	1/3	4,530

$$T_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot D \cdot l_e$$

$$\tau_a = 10 \sqrt{\frac{F_c}{21}}$$

F_c (N/mm ²)	τ_a (N/mm ²)	l_e (mm)	D (mm)	ϕ_3	T_{a3} (N/本)
18	9.26	64	9	1/3	5,586

$$T \leq T_a$$

$$T_a = \min (T_{a1}, T_{a2}, T_{a3})$$

T (N/本)	T_a (N/本)	判 定
2,800	4,530	2,800 ≤ 4,530 . . . O K

(6) せん断力に対する検討

アンカーは異形鉄筋 D6 を使用する。

$$l_e = 64 \text{ mm} \quad D_a = 6 \text{ mm}$$

$$V_{a1} = \phi_{s1} \cdot \tau_B \cdot s_c \alpha$$

τ_B (N/mm ²)	$s_c \alpha$ (mm ²)	ϕ_{s1}	V_{a1} (N/本)
110	31.67	1.0	3,484

$$V_{a2} = \phi_{s2} \cdot \sqrt{(\sigma_{ck} / 21)} \cdot A_c$$

A_c (mm ²)	σ_{ck} (N/mm ²)	ϕ_{s2}	V_{a2} (N/本)
10,053	18	1/3	3,102

$$V \leq V_a$$

$$V_a = \min (V_{a1}, V_{a2})$$

V (N/本)	V_a (N/本)	判定
1,263	3,102	1,263 \leq 3,102 \dots O K

(7) 複合応力に対する検討

$$\left(\frac{T}{T_a} \right)^2 + \left(\frac{V}{V_a} \right)^2 \leq 1.0$$

T (N/本)	T_a (N/本)	V (N/本)	V_a (N/本)	判定
2,800	4,530	1,263	3,102	0.548 \leq 1.0 \dots O K

***** 景観配慮型特殊堤『シーウォール』留意事項 *****

シーウォールの設置に伴う嵩上げにより、設計外力（静水圧・波力・津波波力等）が増加します。
コンクリートによる嵩上げ工と同じく、以下の項目を照査する必要があります。

(1) 護岸全体の安定性の照査（図.1参照）

嵩上げ後の設計外力に対して護岸本体の安定照査が必要です。

所要値を満足しない場合は、腹付けコンクリートによる重量増加を行います。

(2) コンクリートの曲げ・せん断照査（図.2参照）

嵩上げ後の設計外力に対してコンクリートの曲げ・せん断照査が必要です。

所要値を満足しない場合は、腹付けコンクリート（必要なら鉄筋も設置）による曲げ耐力の増加を行います。

(3) 設置条件を満足しない場合のアンカー筋の照査（図.3参照）

シーウォール設置用アンカーは、既設天端幅が300mm未満、コンクリートの基準強度 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ 未満の場合を想定しておりません。

条件を満足しない場合は、アンカー筋の照査が必要です。

所要値を満足しない場合は撤去・適切断面での再構築、または、腹付けコンクリートによる増し厚を行います。

図.1 護岸全体の安定照査

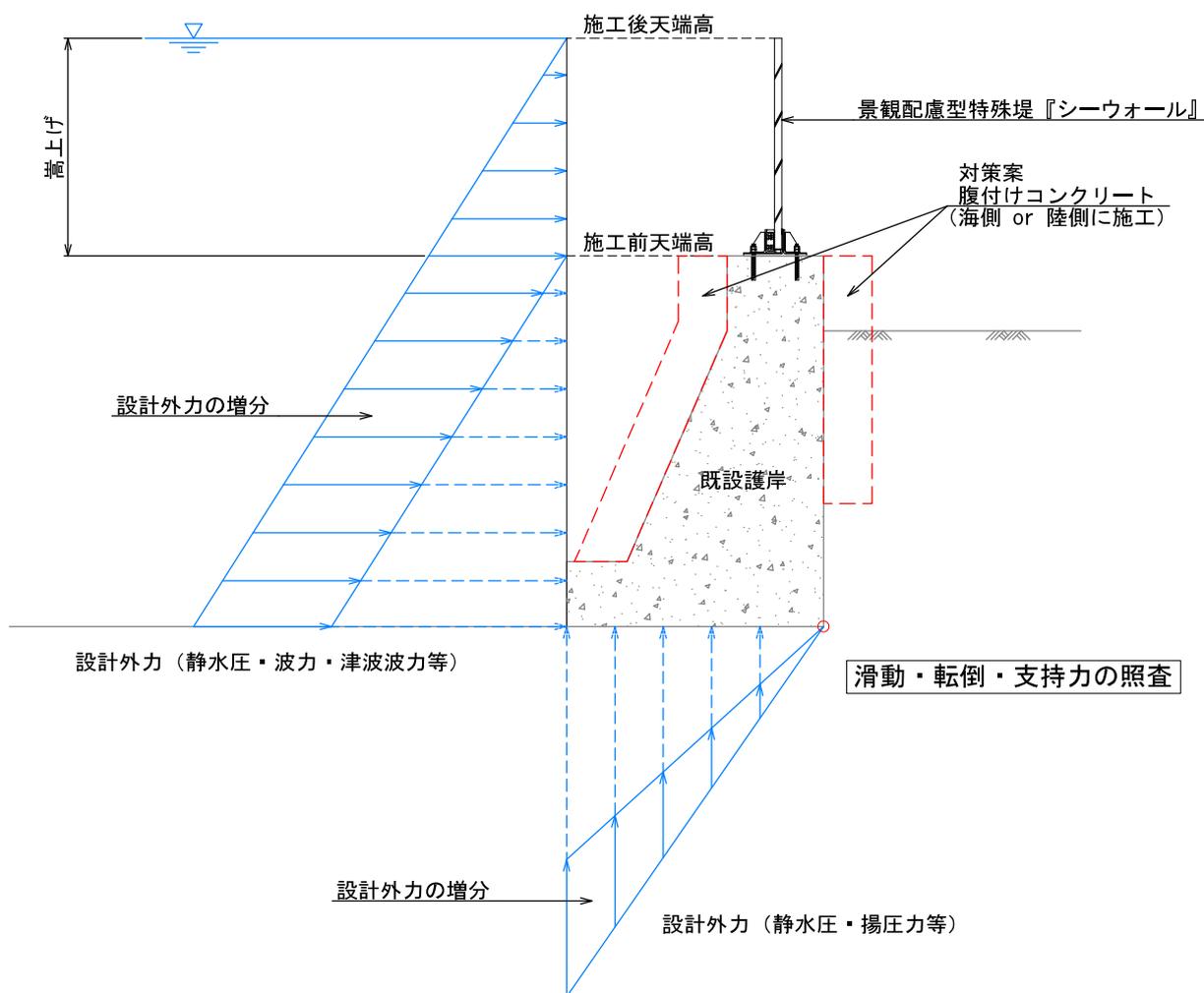


図.2 コンクリートの曲げ・せん断照査

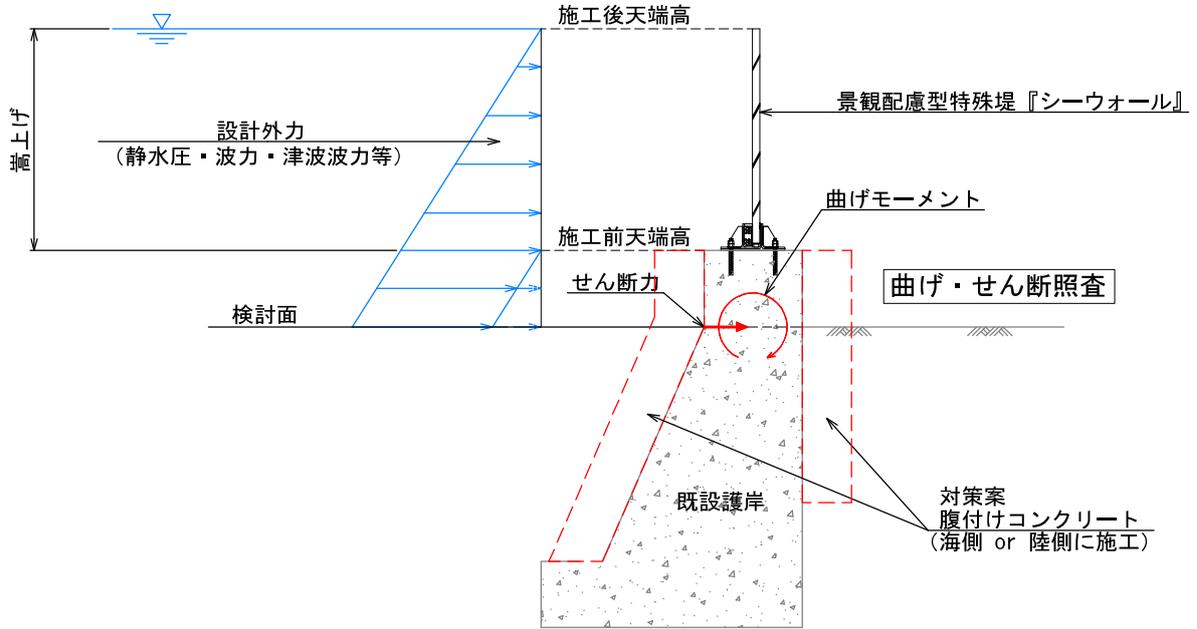
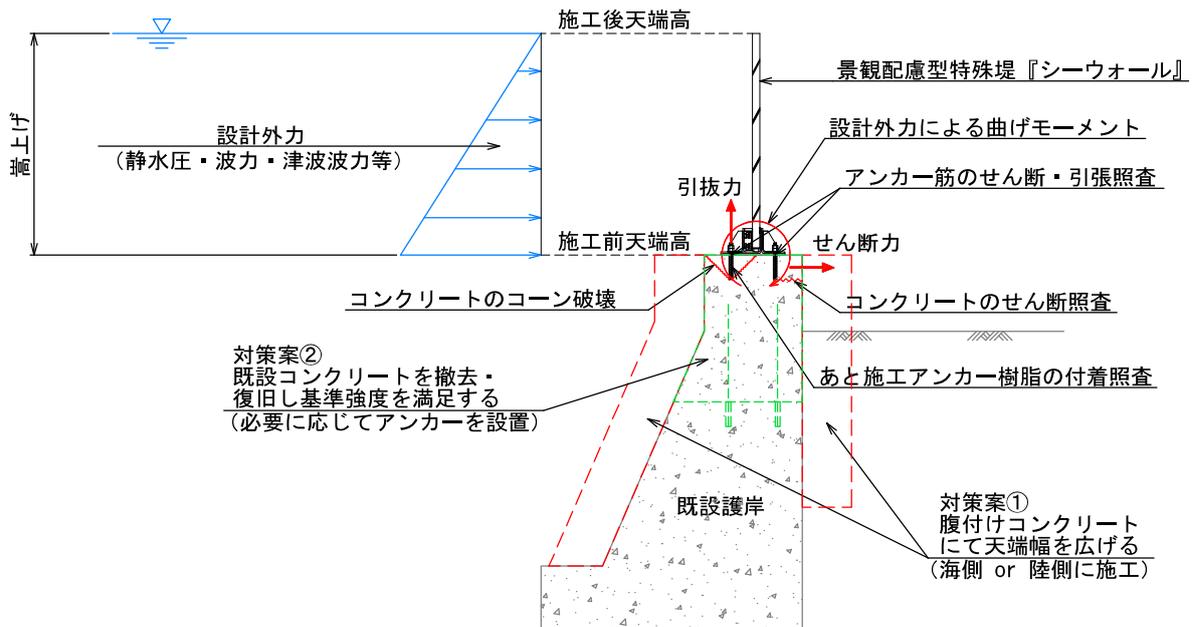


図.3 アンカー筋の照査

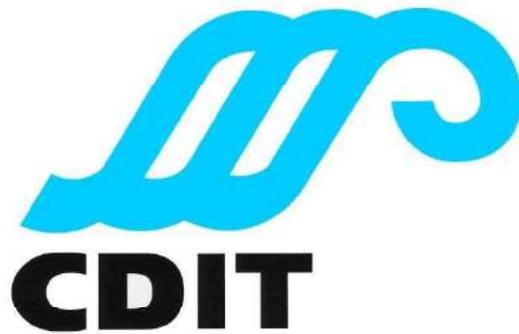


港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書

(第14003号)

防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」

審査・評価依頼者：景観技術株式会社



平成27年5月 第14003号
令和2年3月 更新

一般財団法人 沿岸技術研究センター

序

港湾・海岸・空港等の公共事業においては、高コスト構造の改革、循環型社会の構築及び安全・安心の確保、基準の国際化等の対応が大きな課題となっています。また、作業効率や品質の向上は、各事業の実施において求められる課題です。これらの課題に応えるためには、産・官・学による技術開発が必要であることは言うまでもありません。

その中であって、民間企業においては、地道な努力により技術開発に取り組まれ、多くの優れた技術を確立されてきております。

民間企業により開発された技術を評価し、公共事業への活用を図ることを目的に、平成元年に「港湾に係る民間技術評価制度」が運輸省において創設され、実施されてまいりました。この制度は、平成12年10月より（財）沿岸技術研究センターにその機能を移管し、当センターの「港湾関連民間技術の確認・評価事業」として実施されるに至りました。

このたび、景観技術株式会社より、**防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」**に関する評価依頼を受け、当センターでは「港湾関連民間技術の確認審査・評価に関する実施要領」に基づき、学識経験者からなる「令和元年度下期 港湾関連技術確認審査・評価委員会」（委員長 善 功企 九州大学名誉教授）において、技術の確認審査および評価を行いました。

本報告書は、**防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」**に関する審査結果を広く関係機関に周知し、その活用を図るために作成したものであります。

令和2年3月

一般財団法人 沿岸技術研究センター
代表理事・理事長 高橋 重雄

技術の確認審査・評価にあたって

このたび確認審査・評価の依頼があった 防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」は、防潮壁としての機能を有しながら、防潮壁の外側が視認できることを可能にした土木資材であります。

本技術の確認審査・評価においては、以下に示す3つの事項、

- (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。
- (2) 防潮壁として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。
- (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。

について、学識者から成る専門委員会を設置して慎重な審議を行いました。

その結果、上記のいずれの事項についても評価の結果にある要件を満足するものであることが確認されました。

同土木資材が港湾工事において広く普及することを念願するものであります。

令和2年3月

港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会

委員長 善 功企

評 価 証

第 1 4 0 0 3 号

【技術の名称】

防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」

1. 依頼者

法人の名称 景観技術株式会社
住 所 大阪市西区京町堀 1 丁目 1 1 番 1 号

2. 評価の前提

本技術の適用にあたっては、本報告書の留意事項の他、依頼者が推奨する方法で使用されるものとする。

3. 評価の範囲

評価の範囲は、依頼者より提出された開発の趣旨、開発目標に対して、施工実績の結果により確認できる範囲とする。詳細は港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書（第 1 4 0 0 3 号）に示す。

4. 評価の結果

- (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であることが確認された。
- (2) 水深 10m に相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は 6.10×10^{-8} (m³/m/s) であることが確認された。
- (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であることが確認された。

一般財団法人沿岸技術研究センターが定める港湾関連民間技術の確認審査・評価に関する実施要領に基づき、上記の内容を確認した。

なお、評価証の有効期限は 5 年間とする。

平成 27 年 5 月 14 日

令和 2 年 3 月 31 日 第 1 回目更新

一般財団法人 沿岸技術研究センター

代表理事・理事長 高橋 重雄



港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会
委員構成

委員長 善 功企 九州大学 名誉教授

委員 (現委員五十音順)

大即 信明	東京工業大学	教育・国際連携本部	特任教授
春日井 康夫	一般財団法人	沿岸技術研究センター	専務理事
菊池 喜昭	東京理科大学	理工学部 土木工学科	教授
清宮 理	早稲田大学		名誉教授
小平田 浩司	一般財団法人	港湾空港総合技術センター	業務執行理事
佐々木 宏	一般社団法人	日本埋立浚渫協会	調査役
下迫 健一郎	国立研究開発法人	海上・港湾・航空技術研究所	
		港湾空港技術研究所	特別研究主幹
高野 誠紀	国土交通省	国土技術政策総合研究所	港湾研究部長
中本 隆	国土交通省	港湾局 技術企画課	技術監理室長
野口 孝俊	国土交通省	関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所長	

事務局

西園 勝秀	一般財団法人	沿岸技術研究センター	研究主幹
岡田 理	一般財団法人	沿岸技術研究センター	主任研究員

目 次

1. 評価対象技術	1
1.1 依頼者	1
1.2 技術の名称	1
1.3 技術の概要	1
2. 開発目標の主旨	14
3. 開発目標	14
4. 開発目標の評価方法	15
5. 開発目標の評価	17
5.1 開発目標(1).....	17
5.2 開発目標(2).....	25
5.3 開発目標(3).....	32
6. 評価の結果	35
6.1 開発目標(1).....	35
6.2 開発目標(2).....	35
6.3 開発目標(3).....	35

1. 評価対象技術

1.1 依頼者

景観技術株式会社

1.2 技術の名称

防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」

1.3 技術の概要

1.3.1 技術の概要

シーウォールは、透明樹脂板を用いた防潮壁用枠付き透明窓である。高潮時の波圧、津波波圧、漂流物等による衝突荷重に対して適切な強度計算を行い、設計外力に対して十分な安全な板厚、枠形状を決定する。透明樹脂板は温度変化による伸縮が懸念されるが、シーウォールの枠部分は部材に孔を空けることなく、伸縮を吸収する構造であり、かつ水密性を確保できる構造となっている。

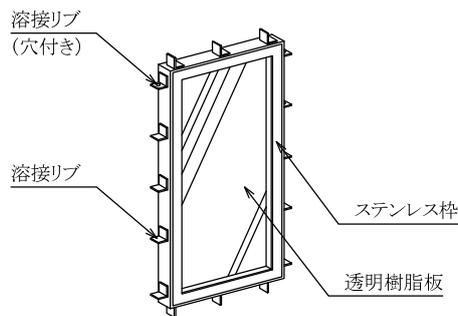


図-1.3.1 製品概要



写真-1.3.1 施工事例

1.3.2 技術の特徴

(1) 環境保全性

- ・ 視認できる構造であるため、防潮壁による閉塞感を緩和すると同時に景観面でも現況を損なわない。
- ・ 樹脂として再資源化再生利用できるリサイクル可能資材である。

(2) 施工性

- ・ 枠付き構造であるため施工効率がよい。

(3) 耐久性

- ・ 高速道路の遮音壁、水族館などで用いられており、耐久性に優れ、劣化は少ない。

(4) 安全性

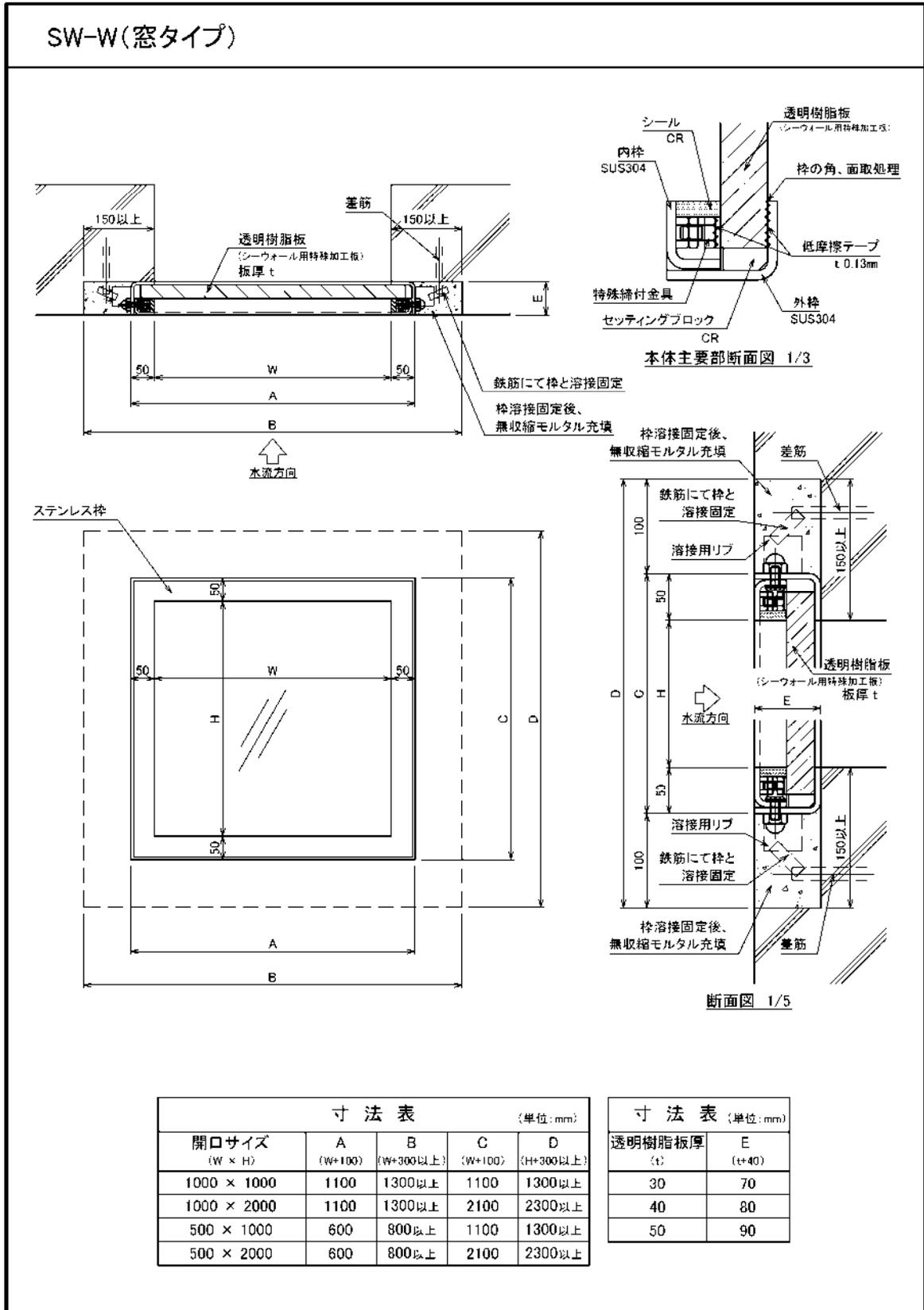
- ・ 設計外力に対して十分な安全な板厚を決定する。
- ・ 想定外の大きな荷重により破損した場合でも、透明樹脂板は飛散し難い性質であるため安全性に優れる。

(5) 維持管理性

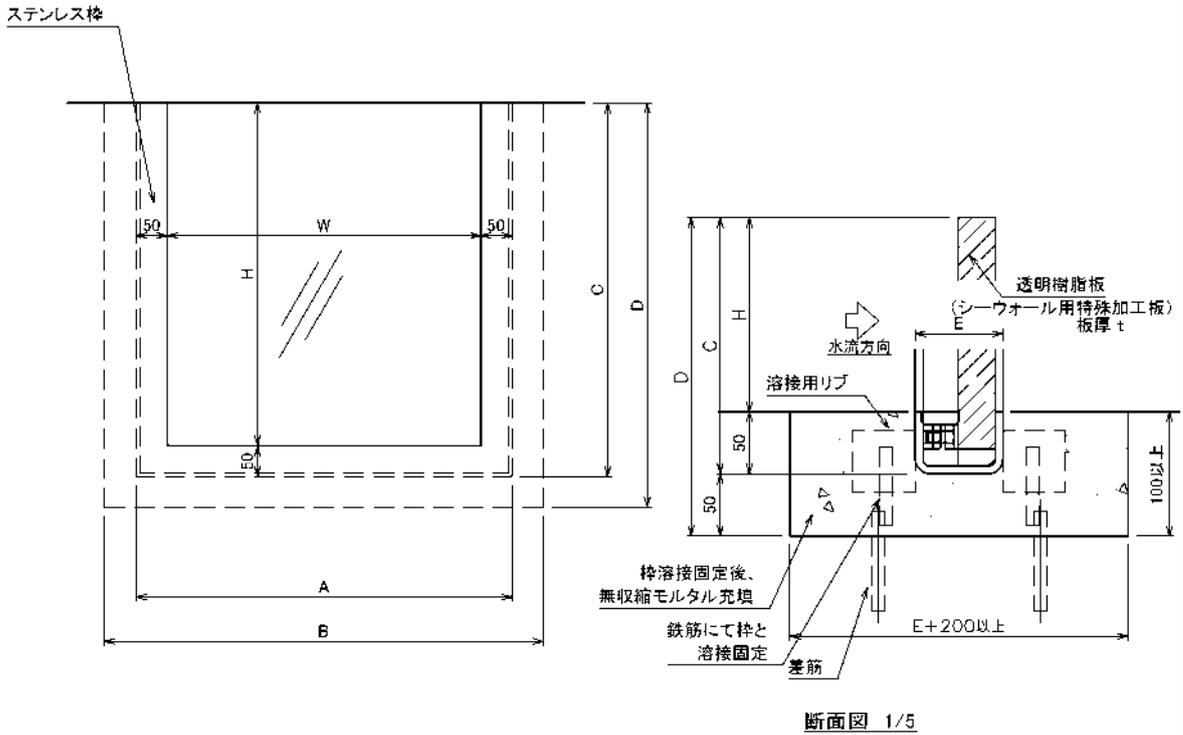
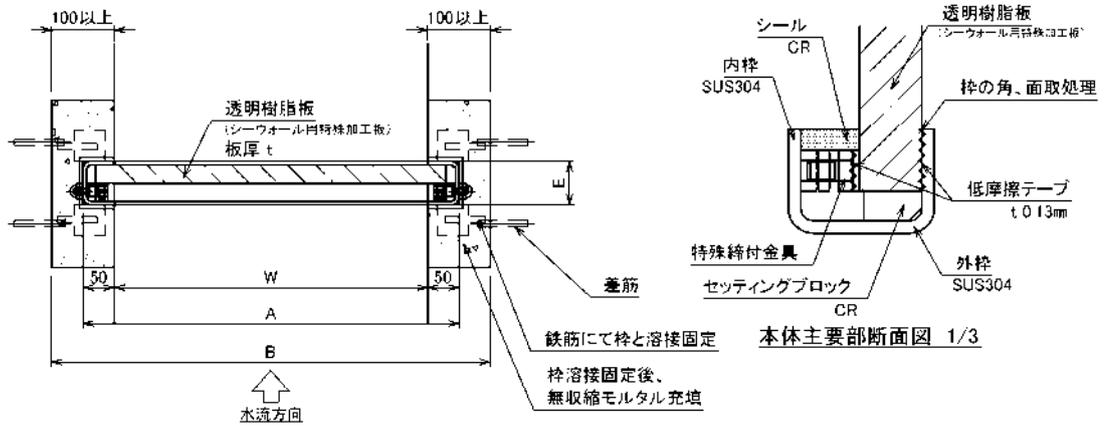
- ・ 脱着可能な枠構造により、透明樹脂板・シール材・締付金具の点検・交換が容易に行える構造である。

1.3.3 製品の仕様

シーウォール標準仕様を以下に示す。



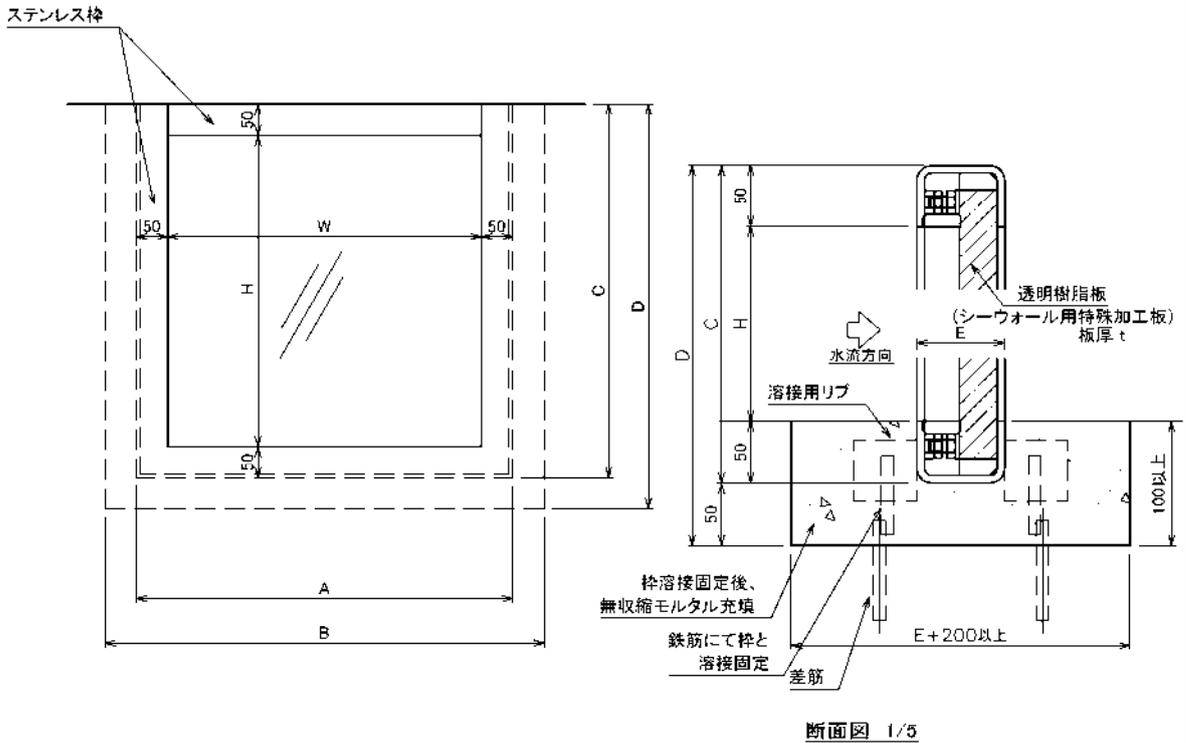
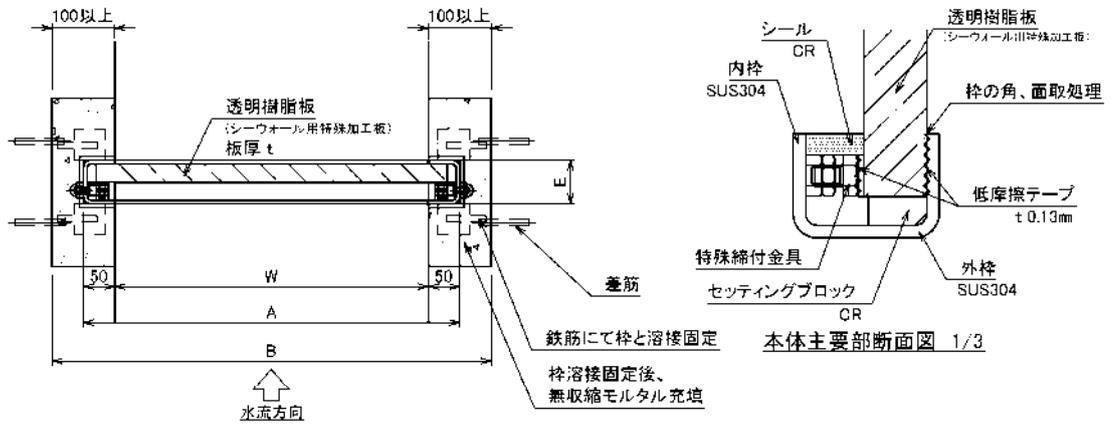
SW-U-3(かさ上げ3方枠タイプ)



寸法表 (単位:mm)				
開口サイズ (W × H)	A (W+100)	B (W+200以上)	C (H+50)	D (H+100以上)
2000 × 510	2100	2200以上	560	580以上
2000 × 1000	2100	2200以上	1050	1100以上

寸法表 (単位:mm)	
透明樹脂板厚 (t)	E (t+40)
30	70
40	80
50	90

SW-U-4(かさ上げ4方枠タイプ)



寸法表 (単位:mm)				
開口サイズ (W × H)	A (W+100)	B (W+200以上)	C (H+100)	D (H+150以上)
2000 × 480	2100	2200以上	580	630以上
2000 × 1000	2100	2200以上	1100	1150以上

寸法表 (単位:mm)	
透明樹脂板厚 (t)	E (t+40)
30	70
40	80
50	90

1.3.4 耐用年数及び維持管理

(1) 耐用年数

主な透明樹脂板であるアクリルやポリカーボネートの耐用年数は 50 年以上あることから、維持管理（定期的な透明樹脂板の清掃と枠部分の各部品の保守・点検・交換）を行うことにより、シーウォールの耐用年数は 50 年を確保できる。

(2) 維持管理

1) 透明樹脂板の清掃

- 1年に2回程度、目視の汚れ具合により清掃を行うこと。
- 詳細は「D.参考資料」参照。

2) 対象部品

- 5年に1回程度、以下に説明する部品について目視点検し劣化等が認められた場合は交換する。

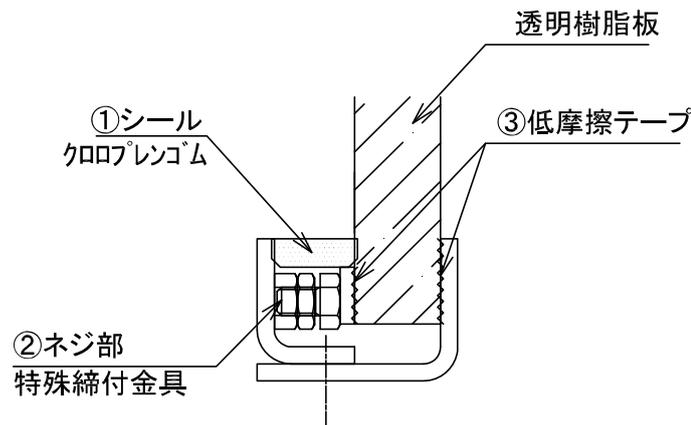


図-1.3.4 枠構造断面図

表-1.3.4 主要部材点検表

	①シール	②ネジ部	③低摩擦テープ
材質	クロロプレンゴム ※港湾の陸閘ゲートに使用されている水密ゴムと同様の材質	ステンレス	基材は、ガラス繊維 (PIFE 含浸)
耐用年数	目安として一般的に10～15年	目安として一般的に20～30年	目安として一般的に20～30年
点検時期	硬度計を用いて定期的に点検を行う。測定値が80を越えた場合、シールを交換する。	目視・締付の点検をし、錆の発生があれば交換を行う。	目視の点検をし、ひび割れ、傷等があれば交換を行う。

3) 保守・点検

i) 保守・点検フロー図



ii) 保守・点検方法

① シール

- ひび割れ、傷等の劣化が無いか目視点検する。
- 耐用年数は、使用環境にもよるが一般的に 10～15 年程度といわれているおり、劣化の診断は目視による状態確認と、硬度計による硬度測定を行い測定値が 80 を超えたとき交換する

② ネジ部(特殊締付金具の点検及びトルク管理)

- 錆の発生がないか目視点検する。
- 締付トルクを $3N \cdot m$ とし管理する。
- また緩み止めのダブルナット部も点検し増し締めする

③ 低摩擦テープ

- ひび割れ、傷等が無いか目視点検し、確認された場合は交換する。

iii) その他

- 高潮や津波による影響が確認された場合は、必ず点検を実施すること。

1.3.5 施工方法

(1) 施工フロー図

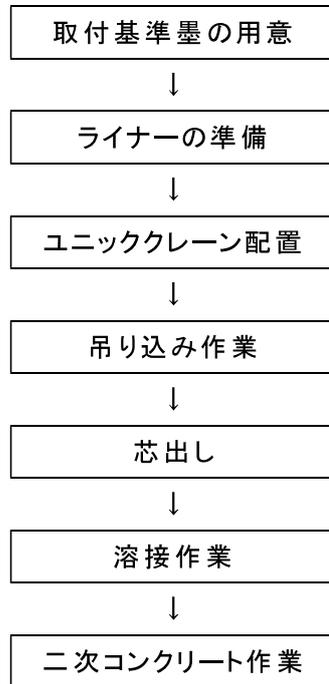


図-1.3.6 シーウォール施工フロー図

(2) 製品概要

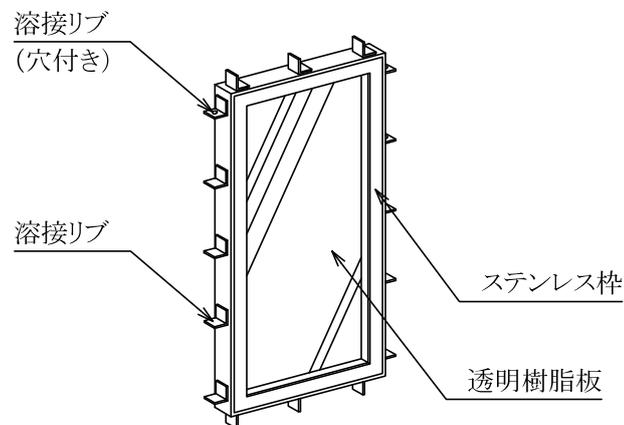


図-1.3.5 製品概要図

【付属品】

- ・ライナー（レベル調整ボルト付）
- ・アイボルト&ナット
- ・キャンバー
- ・溶接用鉄筋棒
- ・シャックル

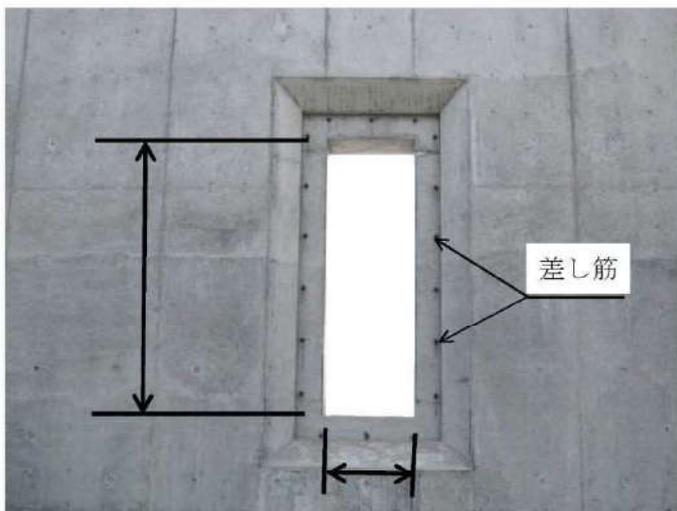
【作業に必要な工具類】

- ・溶接器具（溶接器、溶接棒他）
- ・17mmレンチ・スパナ
- ・下振り
- ・スパッタシート
- ・水平器
- ・ベルトスリング
- ・足場（脚立・立馬）
- ・無収縮モルタル&増強剤

(3) 施工事例 (写真)



<陸側からの外観>



<海側からの外観>

作業前の事前調査にて、開口寸法・差筋寸法が図面通りであるかの確認をする。
現場担当者との打合せの上、取付基準の確認をする。



<取付基準墨の用意>

取付基準に従ってコンクリート躯体にレーザー又は水平器を使い基準墨を打つ。

あらかじめ基準墨があればこの作業は不要です。



<ライナーの準備>

レベル調整用専用ライナーを据える。



<ユニッククレーン配置>

作業範囲、車両の安全を考慮し配置する。



<揚重の方法>

本体上部の溶接リブの、Iボルト取付用穴
を使用し揚重作業を行う。



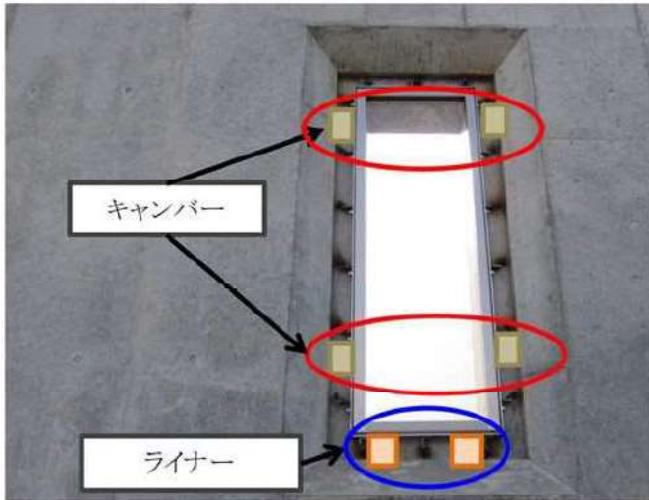
<吊り込み作業>

所定の位置へ本体を吊り込みを行う。
本体をコンクリート躯体に密着させ
仮置きをする。



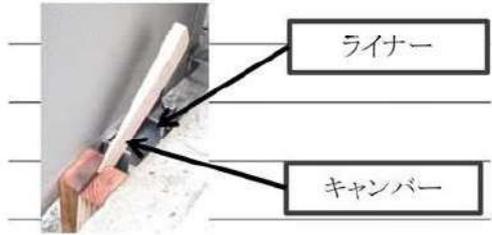
<芯出し>

専用ライナー、キャンバーで芯出しをする。



<芯出し>

ライナー、キャンバーで芯出しをする。



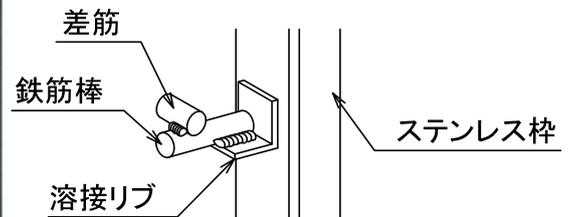
<溶接作業>

本体の溶接リブと差筋を、鉄筋にて溶接固定をする。

注)スパッタシートにてアクリル板を養生し作業を行う。



<溶接状況>



枠溶接固定状況



＜二次コンクリート作業＞

枠の外周部を無収縮モルタルで
仕上げる。

1.3.6 適用範囲

- (1) 港湾施設及び海岸保全施設の防潮壁
- (2) 水圧作用時の材料の表面温度が 50℃以下の場所とする（50℃以上の場合は透明樹脂板の許容応力度が変わるため、別途確認が必要。）
- (3) 陸側からの荷重が作用しない位置に設置すること。（作用させる場合は別途検討が必要。）

1.3.7 留意事項

- (1) 標準寸法（1000mm×2000mm）を超えるサイズの場合、水密試験を行うこと。
- (2) シーウォール設置に伴いコンクリート壁が欠損するため、適切な安定照査・配筋照査を行うこと。
- (3) 設計外力については、適切に設定すること。
- (4) 設計基準等が異なるため、建築構造物には使用しないこと。
- (5) 使用状況、メンテナンス状況によっては、透明樹脂板の視認性が悪くなる。必要な視認性に応じた、メンテナンスおよび透明樹脂板の交換をおこなうこと。
- (6) メンテナンス時に有機溶剤を使用しないこと。
- (7) 火の使用など高温が発生する場所には設置しないこと。
- (8) 透明樹脂板の耐荷力については、依頼者提出資料を参考すること。

1.3.6 適用範囲

- (1) 港湾施設及び海岸保全施設の防潮壁
- (2) 水圧作用時の材料の表面温度が 50℃以下の場所とする（50℃以上の場合は透明樹脂板の許容応力度が変わるため、別途確認が必要。）
- (3) 陸側からの荷重が作用しない位置に設置すること。（作用させる場合は別途検討が必要。）

1.3.7 留意事項

- (1) 標準寸法（1000mm×2000mm）を超えるサイズの場合、水密試験を行うこと。
- (2) シーウォール設置に伴いコンクリート壁が欠損するため、適切な安定照査・配筋照査を行うこと。
- (3) 設計外力については、適切に設定すること。
- (4) 設計基準等が異なるため、建築構造物には使用しないこと。
- (5) 使用状況、メンテナンス状況によっては、透明樹脂板の視認性が悪くなる。必要な視認性に応じた、メンテナンスおよび透明樹脂板の交換をおこなうこと。
- (6) メンテナンス時に有機溶剤を使用しないこと。
- (7) 火の使用など高温が発生する場所には設置しないこと。
- (8) 透明樹脂板の耐荷力については、依頼者提出資料を参考すること。

2. 開発目標の主旨

近年、既設防潮壁の天端高は見直され、防潮壁の必要天端高は既設天端高と比べかなり高くなる傾向にある。高い天端高の防潮壁はコンクリート壁による閉塞感があると同時に景観面にも悪影響を与える。また、津波や高潮の災害時に防潮壁より海側の避難状況が確認しにくくなる。これらを解決するために、防潮壁の外側が視認できる土木資材として、**防潮壁用枠付き透明窓**が開発された。従来は埋め込みによる方式、ボルト締めによる方式であったが、本技術は枠部材を用いる事により、部材の温度収縮に対応できるだけでなく、透明樹脂板と枠との一体化構造にすることにより、比較的、施工性・維持管理性を高めることが可能とされている。

3. 開発目標

本技術の開発目標として以下の3項目が依頼者より提示された。

- (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。
- (2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。
- (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。

4. 開発目標の評価方法

4.1 評価の前提

本技術の評価にあたっては、以下の条件に該当することを前提とする。

- (1) 本技術の構成材料は、適切な品質管理のもとで製造・製作されるものとする。
- (2) 本技術の適用にあたっては、**1.3.6** に示す留意事項の他、依頼者が推奨する方法で使用されるものとする。
- (3) 透明樹脂板は主に選定されるアクリルおよびポリカーボネートを対象とし評価する。

4.2 評価の範囲

評価の範囲は、依頼者より提出された開発の趣旨、開発目標に対して、施工実績等の結果等により確認できる範囲とする（表-4.1 参照）。

表-4.1 評価の範囲

評価項目	確認項目	室内試験	備考
開発目標(1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること	透明樹脂板の取り外し状況	○	
開発目標(2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること	水圧作用時の水密性	○	
開発目標(3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること	温度変化試験	○	

4.3 評価の方法

開発目標に則して、評価基準および確認項目・方法を表-4.2のように設定する。

表-4.2 評価の方法

評価項目	確認項目	確認方法	評価基準
開発目標(1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること	透明樹脂板の取り外し状況	製品を用いて取り外し状況を確認	透明樹脂板が取り外し可能であること
開発目標(2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること	水圧作用時の水密性	水圧試験を行い、水密性を確認	高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること
開発目標(3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること	温度変化試験	加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認	透明樹脂板の温度変化による伸縮を枠部分にて吸収できること

5. 開発目標の評価

5.1 開発目標(1)

本節では、依頼者提出資料（C. 評価資料）を基に、開発目標(1)の確認・評価を行う。なお、開発目標(1)は、「施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること」である。確認資料として、施工性及び維持管理性に関する検証結果が報告されている。

5.1.1 施工方法・施工効率の比較

施工性向上のために、従来の技術である枠無し構造の施工性とシーウォールの施工方法、施工効率を比較する。

(1) シーウォールの場合

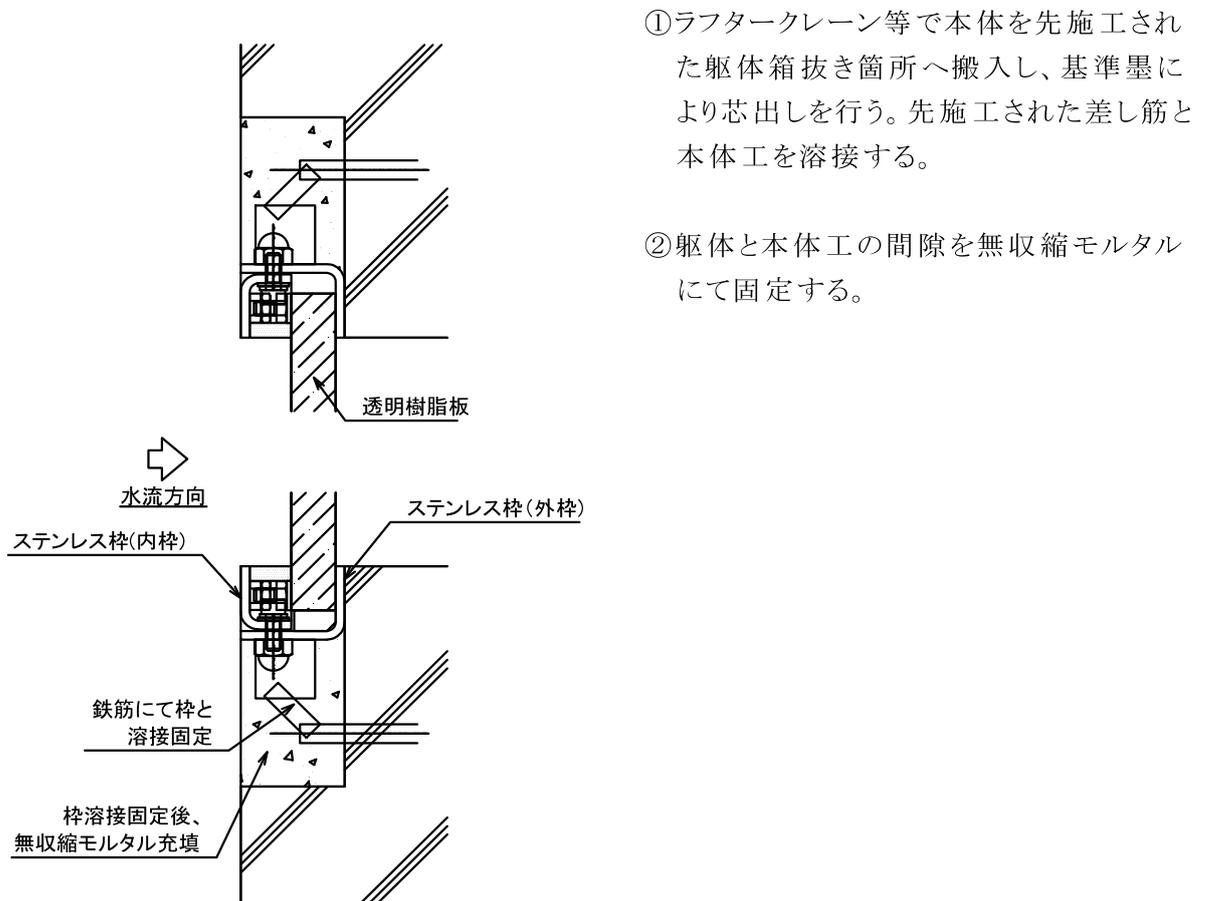
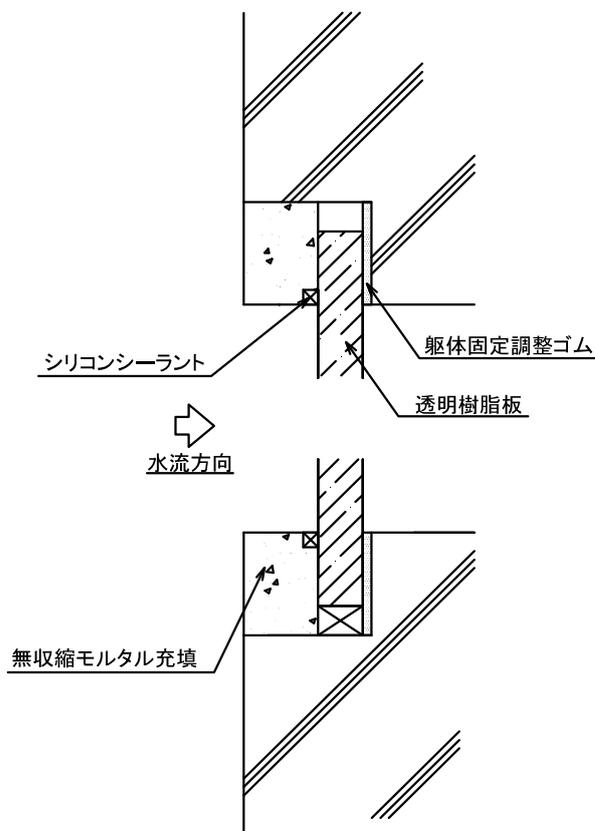


図-5.1.1 シーウォールの施工順序

(2) 従来（透明樹脂板直接はめ込み方式）の場合



- ①ラフタークレーン等で本体を先施工された躯体箱抜き箇所へ搬入し、基準墨により芯出しを行う。
- ②躯体と透明樹脂板の間隙を無収縮モルタルにて固定する
- ③躯体と透明樹脂板の間隙にシリコンシーラントを施工する。

図-5.1.2 従来（透明樹脂板直接はめ込み方式）の施工順序

(3) 施工方法による人工数比較 (対象サイズ: W500× H1600× t20 の場合)

表-5.1.1にシーウォールと透明樹脂板直接はめ込み方式の1基当たりの人工数を示す。

表-5.1.1 施工方法による人工数

項目	透明樹脂板直接はめ込み式 (1基当り) ※1	シーウォール(枠付き) (1基当り) ※2
透明樹脂板搬入工	0.2 人工	
モルタル工	0.2 人工	
シール工	0.3 人工	—
人工計	0.7 人工	0.4 人工
一日当りの施工可能基数 (3人作業時)	4.3 基	7.5 基

※1)施工実績と同サイズの実績がないため同じ作業工程に関しては同工数としシール工に関しては(財)建設物価調査会発行誌面のシーリング工事公表価格を参考としている。

人工計算は、シリコン目地 10× 10(≒1,890/m)の周長 4.2m(≒7,900)を1人工≒25,000として求めている。

※2)以下の実績値である。

設置箇所:岩手県釜石市釜石港、発注者:岩手県沿岸広域振興局

施工時期:平成 26 年 5 月～

防潮堤高:H=6.10m、シーウォールサイズ:W500× H1600(有効開口)

それぞれの施工要領(概略)は「D.参考資料」参照。

5.1.2 維持管理性の確認

(1) 透明樹脂板の取り外し方法

[標準作業人員:2名:施工場所において海側から]

1. ステンレス枠内のゴムシールを外す。
 2. 枠内バックアップ材を取り外す。
 3. 特殊締付金具のロックナットを緩め、締付ボルトを緩める。
 4. ステンレス外枠の接合ボルトを外す
 5. ステンレス外枠を外す。
 6. 透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し外す。
 7. 透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し内枠へ取付ける。
 8. ステンレス外枠を六角ボルトにて接合する。
 9. 特殊締付金具の締付けボルトを所定のトルク(3N・m)で締付け、ロックナットにて固定する。
 10. 枠内バックアップ材を取付ける。
 11. ステンレス枠内のゴムシールをはめ込む。
- (はめ込みにくい場合は中性洗剤を塗布してください)

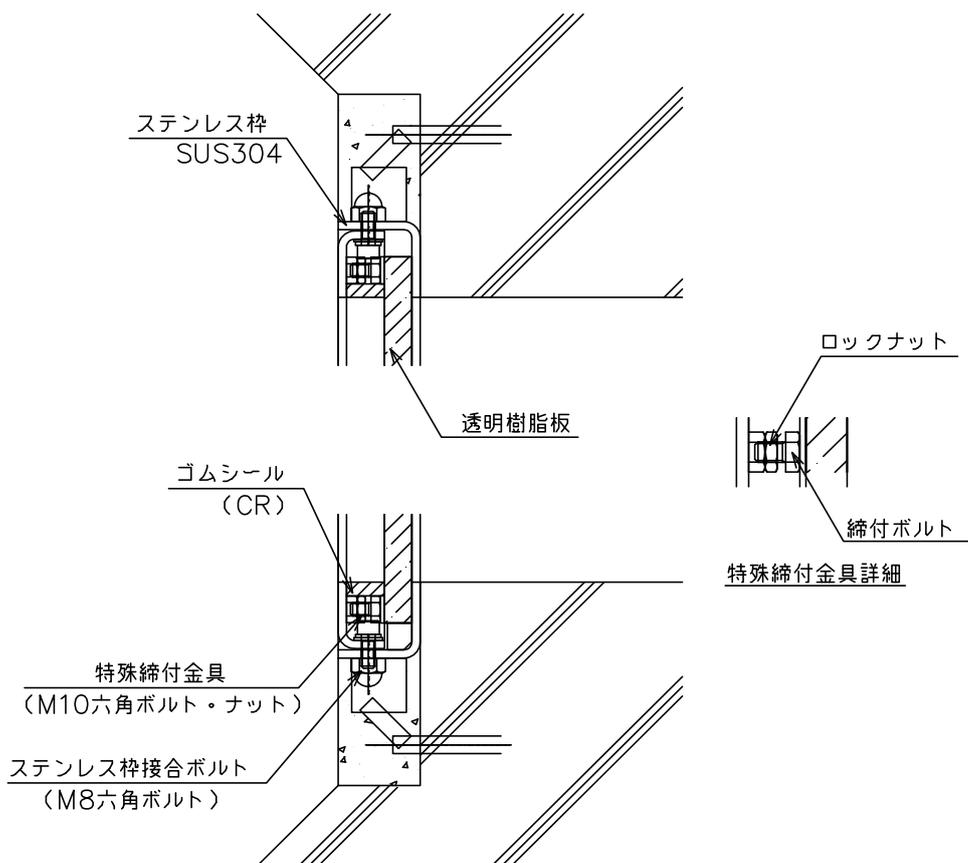


図-5.1.3 透明樹脂板の取り外し方法

(1) 透明樹脂板の取り外し状況

① ステンレス枠内のゴムシールを外す



ゴムシールはマイナスドライバー等でめくりあげる。



ゴムシールは四辺が連続した一体物。

② 枠内バックアップ材の取り外し



特殊締付金具の部分からマイナスドライバー等でめくりあげる。

③ 特殊締付金具のロックナットを緩め、締付ボルトを緩める



特殊締付金具は必ず緩めて透明樹脂板の脱着を行うこと。※緩めずに外枠の着脱を行うと外枠の接合ボルトに悪影響がある。



枠内四辺に複数箇所あり。M10用（二面幅 17mm）のスパナを二本使用。

④ ステンレス外枠の接合ボルトを外す



枠内四辺に複数箇所あり。



M8用（二面幅 13mm）ボックスレンチを使用。

⑤ステンレス外枠、透明樹脂板を取り外す



※取り外し工程の、この作業以降は安全のためバキューム吊り具にて透明樹脂板が倒れないように支えながら作業を行うこ

外枠を取り外す。

⑥透明樹脂板を取り外す



バキューム吊り具などを使用し透明樹脂板を移動する。

取り外した透明樹脂板に取付けているフラットバーを取り外し、交換する透明樹脂板に張り替える。
注) このときフラットバーに貼り付けられた低摩擦テープが確実に貼られているか確認し、劣化・損傷があれば交換する。

取り外した透明樹脂板に取付けているセッティングブロック(ゴム)を取り外し、交換する透明樹脂板に張り替える。

⑦透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し内枠へ取付ける



新品の透明樹脂板を枠内へ据え付ける。セッティングブロックが下部になるように据え付ける。

ステンレス枠内で透明樹脂板左右のクリアランスが均等になるように位置調整をする。

⑧ ステンレス外枠を六角ボルトにて接合する



ステンレス外枠を枠内にはめこむ。



ステンレス外枠接合ボルトを仮止め（外枠が動く状態）する。



透明樹脂板とステンレス外枠縁の寸法が 28mm～29mm であることを確認する。



ステンレス外枠接合ボルトをトルクレンチを使用し締め付ける。

⑨ 特殊締付金具の締付ボルトを所定のトルク（3N・m）で締め付け、ロックナットにて固定する。



特殊締付金具をトルクレンチを使用し所定のトルクで締め付ける。
※特殊締付金具の所定トルク 3N・m
(30kgf・cm)
所定のトルクは解析実験に基づいた値です。

⑩ 枠内バックアップ材を取付ける



ステンレス枠内にバックアップ材をはめ込む。



⑪ ステンレス枠内のゴムシールをはめ込む



ゴムシールは枠の四隅からはめ込む。



中性洗剤をゴムシールに塗布することで、はめ込みが容易に行える。



完了

5.1.3 考察

5.1.1 及び 5.1.2 の結果より、枠無し構造と比較して施工性は良く、枠から透明樹脂板を取り外しができ、比較的維持管理性が高いと考えられる。

5.1.4 評価

以上より、開発目標(1)について「施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること」を確認した。

5.2 開発目標(2)

本節では、依頼者提出資料（C. 評価資料）を基に、開発目標(2)の確認・評価を行う。なお、開発目標(2)は、「防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること」である。確認資料として、水圧試験による検証結果が報告されている。

5.2.1 試験内容

透明樹脂版とステンレス枠の接合部分に低摩擦テープを設置することにより、水密性を確保する構造となっている。試験は、図-5.2.1 に示す試験装置を用いて、水圧の増加に対する低摩擦テープ部分の水密性を検証する。

(1) 試験要領

- 1) 試験帯及び水密蓋を試験装置架台に固定し、水道水により水密蓋と試験体の間へ水を注入し、エア抜きを行い満水状態にする。
- 2) 水密蓋の上段、中段、下段に取り付けられた圧力計にて試験圧力を確認する。
- 3) 経過時間における漏水量を測定する。

(2) 試験スケジュール

表-5.2.1 試験スケジュール

1日目				2日目				
10:00	→	16:00	→	10:00	→	16:00	→	10:00
試験開始	(6H)	6時間後 漏水量測定	(18H)	24時間後 漏水量測定	(6H)	30時間後 漏水量測定	(18H)	48時間後 漏水量測定

(3) 試験圧力

水深 6 m、10 m 相当の各圧力

注) 漏水により圧力が低下しないよう、バルブ開度及びレギュレータにて調整する。

(4) 漏水量測定方法

漏水を採取した水量(cc)をデジタルはかりで漏水量(cc)測定する。

(5) 経過時間確認方法

電波時計にて確認する。

(6) 試験日数

各試験圧力において 2 日間（48 時間）、計 4 日間で試験を行う。

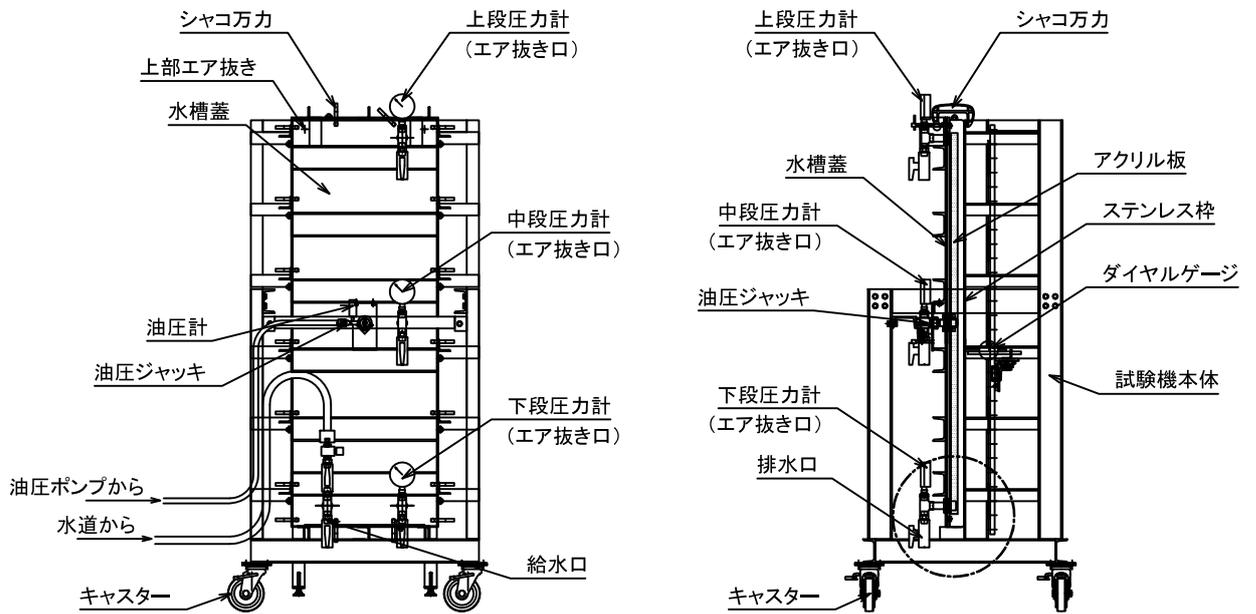


図-5.2.1 試験装置（正面図・断面図）

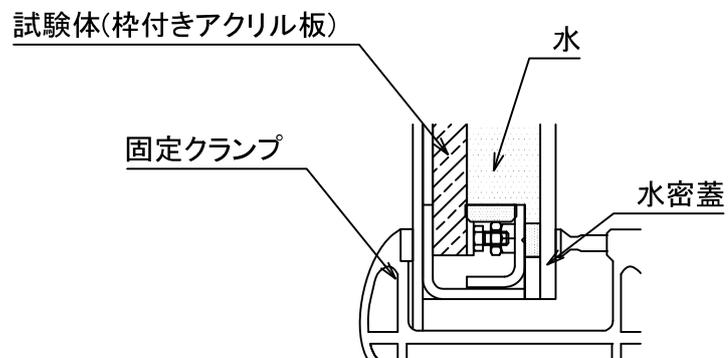


図-5.2.2 試験装置（枠部詳細図）

試験装置の概観写真



試験体 圧力計測



試験体 アクリル側



油圧ジャッキ
(衝突力を再現)



水用レギュレーター
(水量の制御)
水圧計
(水圧の測定)



ダイヤルゲージ
(アクリル変位量を計測)

5.2.2 試験モデル

シーウォール設置下端の水深を6m及び10mと想定した場合の試験を行う。
水道水の試験であるため、各水圧計の理論値は以下となる。

- 上段圧力計 $P=H1 \times q \times 1/1000$
- 中段圧力計 $P=(H1+0.8) \times q \times 1/1000$
- 下段圧力計 $P=H2 \times q \times 1/1000$

q: 海水比重10.1kN/m³相当

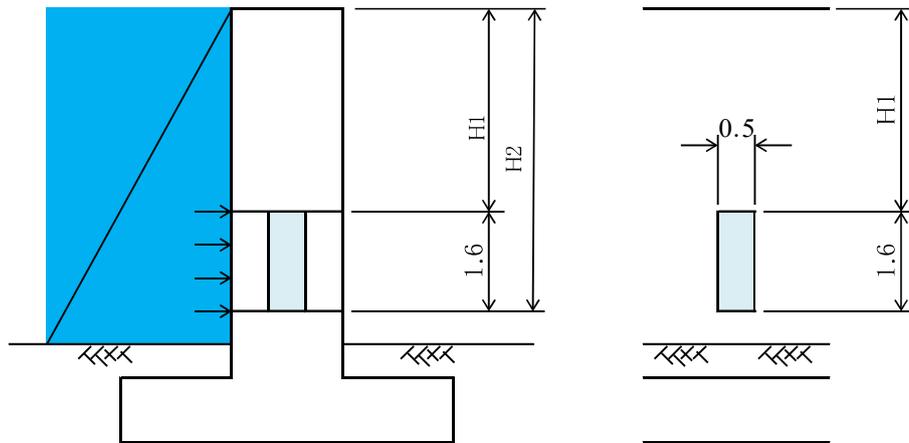


図-5.2.2 試験モデル(イメージ)

5.2.3 試験結果

試験日時: 2015年3月2日～6日

場所: 大日産業株式会社 甚目寺工場東工場内

試験水: 水道水

(1) 試験圧力 水深 H2=6m・海水比重 10.1kN/m³相当

- 上段圧力計計測値 0.044 MPa
- 中段圧力計計測値 0.053 MPa
- 下段圧力計計測値 0.061 MPa

表-5.2.3 漏水量(1)

	3月2日		3月3日		3月4日
	10:00	16:00	10:00	16:00	10:00
	開始	6時間後	24時間後	30時間後	48時間後
漏水量(cc) 累積	—	0	0	0	0

(2) 試験圧力 水深 H2=10m・海水比重 10.1kN/m³相当

- 上段圧力計計測値 0.085 MPa
- 中段圧力計計測値 0.093 MPa
- 下段圧力計計測値 0.101 MPa

表-5.2.4 漏水量(2)

	3月2日		3月3日		3月4日
	10:00	16:00	10:00	16:00	10:00
	開始	6時間後	24時間後	30時間後	48時間後
漏水量(cc) 累積	—	530	2423	3146	5262

(3)経過時間による漏水量の変化グラフ

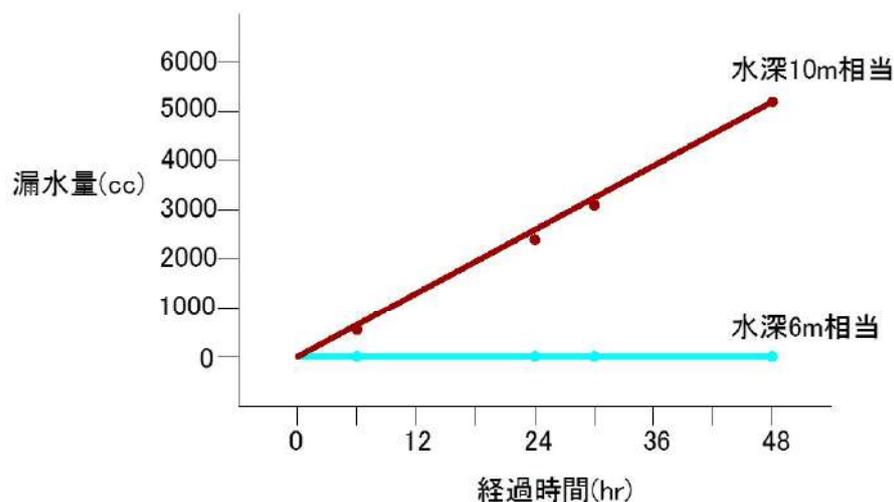


図-5.2.3 漏水量変化グラフ

(4)時間当たりの漏水量について

試験体の開口が0.5mで開口1mの時間当たりの漏水量は、

$$Q_{hr} = \frac{Q \Sigma \times 1}{hr \Sigma \times W} = \frac{5262}{48} \times \frac{1}{3600 \times 0.5}$$

$$= 0.061 \quad cc/m/s \quad (6.100 \times 10^{-8} \quad m^3/m/s)$$

Q_{hr}: 1秒間1mあたりの漏水量 (cc/m/s)

QΣ: 経過時間後の漏水量の合計(cc)

hrΣ: 経過時間(s)

W: 窓開口(m)

表-5.2.5 背後地利用状況から見た許容越波流量
参考基準値（港湾の施設の技術上の基準・同解説より）

利用者	堤防からの距離	越波流量(m ³ /m/s)
歩行者	直背後(50%安全度)	2×10 ⁻⁴
	直背後(90%安全度)	3×10 ⁻⁵
自動車	直背後(50%安全度)	2×10 ⁻⁵
	直背後(90%安全度)	1×10 ⁻⁶
家屋	直背後(50%安全度)	7×10 ⁻⁵
	直背後(90%安全度)	1×10 ⁻⁶

表-5.2.6 背後地利用状況から見た許容越波流量
参考基準値（漁港・漁場の施設の設計の手引きより）

利用方法	状態（護岸のすぐ背後）	越波流量(m ³ /m/s)
歩行者	危険ない	2×10 ⁻⁴ (コップ1杯程度)
自動車	高速通行可能	2×10 ⁻⁵
	運転可能	2×10 ⁻⁴
家屋	大丈夫	7×10 ⁻⁵

(5) 試験結果

水深 10mに相当する水圧試験における漏水量は、 6.1×10^{-8} (m³/m s)であったことから、表-5.2.5及び表-5.2.6に示す背後地利用状況から見た越波流量の許容値と比較しても、少ない水量であることが確認できる。

5.2.4 評価

以上より、開発目標(2)について「水深 10mに相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は 6.10×10^{-8} (m³/m s) であること」を確認した。

5.3 開発目標(3)

本節では、依頼者提出資料（C. 評価資料）を基に、開発目標(3)の確認・評価を行う。
 なお、開発目標(3)は、「主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること」である。確認資料として、温度変化試験による検証結果が報告されている。

5.3.1 試験内容

シーウォールの枠部分は下図のように、透明樹脂版とステンレス枠の接合部分は低摩擦テープを設置することでアクリル板の伸縮を吸収する構造となっている。

以下に試験内容を示す。

- (1) 試験は、ポリカーボネートより温度伸縮量の大きいアクリルにて行う。
- (2) 試験体を試験装置架台に固定し断熱材で囲い、測定基準線をマーキングし、ジェットヒーターで目標の表面温度まで加熱する。
- (3) 表面温度の目標は、本技術の適用範囲である上限の 50℃とした。
- (4) アクリル板の表面温度を確認し測定基準線の測定で枠構造の温度伸縮吸収の判定を行う。

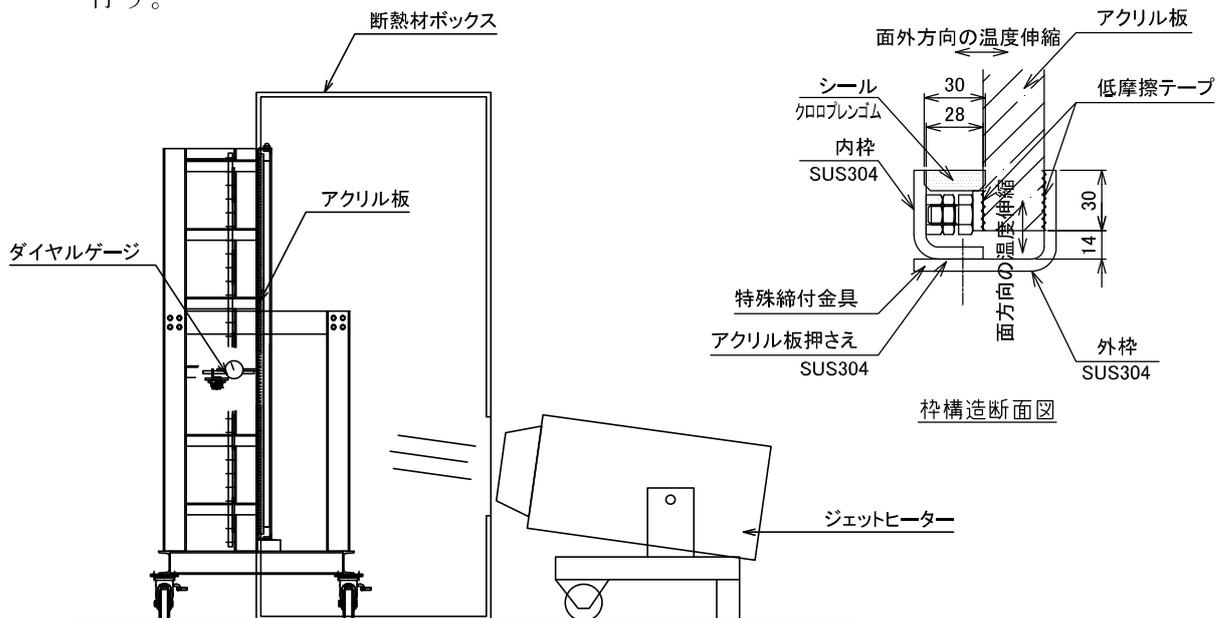


図-5.3.1 試験概要図



装置全体 正面



装置全体 側面
断熱ボックスを外した状態



装置全体 側面
断熱ボックスで覆った状態

5.3.2 試験結果

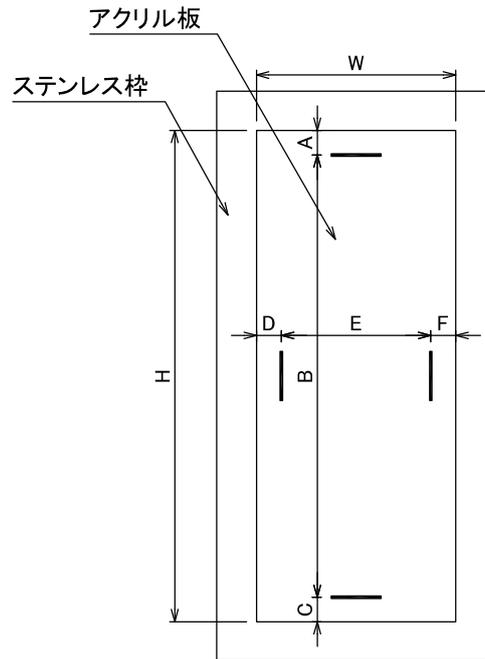


表-5.3.2 アクリル板面方向変位量測定値（メジャー測定値）

	温度℃	亚克力板 (mm)									
		(A)	(B)	(C)	変位量 測定値	理論値	(D)	(E)	(F)	変位量 測定値	理論値
加熱前	25	50.0	1500.0	50.0	-	-	50.0	400.0	50.0	-	-
加熱後	50	47.5	1502.5	50.0	2.5	2.6	50.0	400.5	49.5	0.5	0.7
	温度℃	ステンレス枠 (mm)									
		(W)	変位量 測定値	理論値	(H)	変位量 測定値	理論値				
加熱前	25	1600.0	-	-	500.0	-	-				
加熱後	50	1600.0	0.0	0.7	500.0	0.0	0.2				

上表の理論値は次式により算出された値とする

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot t$$

ΔL : 温度変化による伸縮量(mm)

L: 材料の長さ(mm)

α : 線膨張係数(°C⁻¹)

亚克力: 7×10^{-5}

ステンレス鋼(SUS304): 1.73×10^{-5}

t: 温度変化量(°C) → 25°C

上記結果より、温度変化による亚克力板の変位に対して、ステンレス枠の変位量は 0mm である。以上のことから、表面温度が 50°C（加熱前の表面温度は 25°C のため、温度変化は 25°C）による変位は枠部分において吸収されたことが確認された。

図-5.3.2に、理論値によるアクリル辺長と温度伸縮量の関係を示す。温度変化 25℃における理論値と、本実験での実測値は、ほぼ一致している。よって、理論値から確認すると、アクリル及びポリカーボネートの標準サイズの最大（1000×2000）においても、温度変化 25℃（加熱前の表面温度が 25℃ならば 50℃までの変化）及び温度変化 50℃（加熱前の表面温度が 0℃ならば 50℃までの変化）が生じた場合のアクリル及びポリカーボネートの伸縮を十分許容できることが分かる。

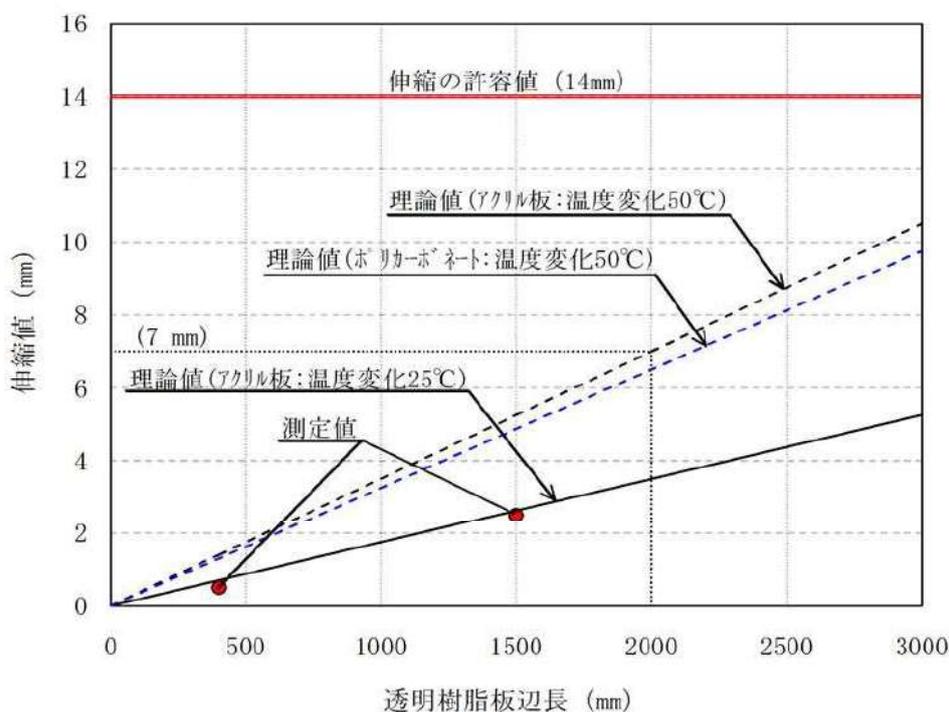


図-5.3.2 透明樹脂板辺長と温度伸縮量の関係

5.3.3 評価

以上より、開発目標(3)について「主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること」を確認した。

6. 評価の結果

6.1 開発目標(1)

依頼者提出資料より、本技術について「施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること」が確認された。評価結果を表-6.1に示す。

表-6.1 評価の結果

評価項目	確認項目	評価結果
開発目標(1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること	透明樹脂板の取り外し状況	枠から透明樹脂板を取り外しができることが確認でき、取り外しが可能であること維持管理性が高いことが確認された。

6.2 開発目標(2)

依頼者提出資料より、本技術について「水深 10mに相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は $6.10 \times 10^{-8} \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{s)}$ であること」が確認された。評価結果を表-6.2に示す。

表-6.2 評価の結果

評価項目	確認項目	評価結果
開発目標(2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること	水圧作用時の水密性	水深 10mに相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は $6.10 \times 10^{-8} \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{s)}$ であることが確認された。

6.3 開発目標(3)

依頼者提出資料より、本技術について「主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること」が確認された。評価結果を表-6.3に示す。

表-6.3 評価の結果

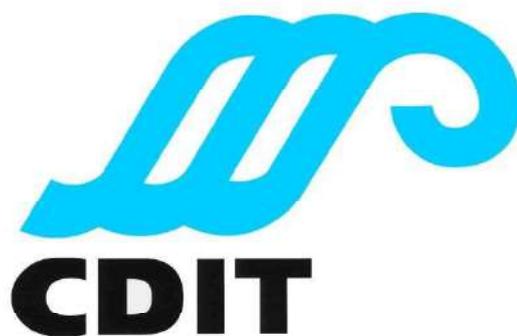
評価項目	確認項目	評価結果
開発目標(3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること	温度変化試験	温度変化 25℃（加熱前の表面温度が 25℃ならば 50℃までの変化）及び温度変化 50℃（加熱前の表面温度が 0℃ならば 50℃までの変化）が生じた場合のアクリル及びポリカーボネートの伸縮を十分許容できることが確認された。

港湾関連民間技術の確認審査・評価
依頼者提出資料

(第14003号)

防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」

審査・評価依頼者：景観技術株式会社



令和2年3月

一般財団法人 沿岸技術研究センター

A. 技術概要説明書

技術概要説明書

依頼者名	景観技術株式会社
技術の種類 項目	防潮壁用枠付き透明窓「シーウォール」
開発の主旨と 開発の目標	<p>1. 開発の主旨</p> <p>近年、既設防潮壁の天端高は見直され、防潮壁の必要天端高は既設天端高と比べかなり高くなる傾向にある。高い天端高の防潮壁はコンクリート壁による閉塞感があると同時に景観面にも悪影響を与える。また、津波や高潮の災害時に防潮壁より海側の避難状況が確認しにくくなる。これらを解決するために、防潮壁の外側が視認できる土木資材として、防潮壁用枠付き透明窓が開発された。従来は埋め込みによる方式、ボルト締めによる方式であったが、本技術は枠部材を用いる事により、部材の温度収縮に対応できるだけでなく、透明樹脂板と枠との一体化構造にすることにより、比較的、施工性・維持管理性を高めることが可能とされている。</p> <p>2. 開発の目標</p> <p>(1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。</p> <p>(2) 防潮壁として高潮・津波に対しての基準の水密性が確保される構造であること。</p> <p>(3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。</p>
技術の概要 (システムの概要等について記述)	<p>シーウォールは、透明樹脂板を用いた防潮壁用枠付き透明窓である。高潮時の波圧、津波波圧、漂流物等による衝突荷重に対して適切な強度計算を行い、設計外力に対して十分安全な板厚、枠形状を決定する。透明樹脂板は温度変化による伸縮が懸念されるが、シーウォールの枠部分は部材に孔を空けることなく、伸縮を吸収する構造であり、かつ水密性を確保できる構造となっている。</p>

<p>性能 (適応性、施工性、操作性、耐久性、安全性、経済性、確実性、環境保全等について記述)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・環境保全性 : 視認できる構造であるため、防潮壁による閉塞感を緩和すると同時に景観面でも現況を損なわない。 樹脂として再資源化再生利用できるリサイクル可能資材である。 ・施工性 : 枠付き構造であるため施工効率がよい。 ・耐久性 : 高速道路の遮音壁、水族館などで用いられており、耐久性に優れており、ほとんど劣化しない。 ・安全性 : 設計外力に対して十分安全な板厚を決定する。 想定外の大きな荷重により破損した場合でも、透明樹脂板は飛散し難い性質であるため安全性に優れる。 ・維持管理性 : 脱着可能な枠構造により、透明樹脂板・シール材・締付金具の点検・交換が容易に行える構造である。 															
<p>既存の技術との対比</p>	<p>現状では、透明樹脂板（アクリル又はポリカーボネート）を設置する場合、埋め込みによる方式、ボルト締めによる方式が採用されており、部材の温度伸縮に対応できる構造にはなっていない。 シーウォールは、部材の温度伸縮に対応できるだけでなく、アクリル板と枠との一体化構造にすることにより、施工性・維持管理性を高めることができる。</p>															
<p>性能の確認方法</p>	<p>表-1 に示す方法にて開発目標を確認した。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">表-1 開発目標と確認方法</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">評価項目</th> <th style="text-align: center;">確認方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">(1)</td> <td>施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるためアクリル板が取り外し可能であること。</td> <td>製品を用いて実際に試す。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(2)</td> <td>防潮壁として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。</td> <td>水圧試験を行い、水密性を確認する。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">(3)</td> <td>主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。</td> <td>加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認する。</td> </tr> </tbody> </table>	表-1 開発目標と確認方法			評価項目		確認方法	(1)	施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるためアクリル板が取り外し可能であること。	製品を用いて実際に試す。	(2)	防潮壁として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。	水圧試験を行い、水密性を確認する。	(3)	主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。	加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認する。
表-1 開発目標と確認方法																
評価項目		確認方法														
(1)	施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるためアクリル板が取り外し可能であること。	製品を用いて実際に試す。														
(2)	防潮壁として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。	水圧試験を行い、水密性を確認する。														
(3)	主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。	加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認する。														

B. 使用実績

技術内容の公開性	<ul style="list-style-type: none"> NETIS 登録 <p style="text-align: center;">登録 No. CBK-100001-A</p> <p style="text-align: center;">登録名 景観配慮型防潮壁「シーウォール」</p>
特許の有無	<ul style="list-style-type: none"> 商標出願 2013-46210 <p style="text-align: center;">シーウォール：防潮壁又は防水壁に取り付けられる透明板付きパネル</p> <ul style="list-style-type: none"> 特許第 5254944 号 <p style="text-align: center;">防潮壁および防潮壁用部品組</p>
関連法規制	特になし
事故発生時の処置方法	<p>事故の内容を把握し、応急処置が必要な場合は迅速に対応する。</p> <p>例) 土のうを設置する等。</p>
適応範囲	<ul style="list-style-type: none"> 港湾施設及び海岸保全施設の防潮壁。 水圧作用時の材料の表面温度が 50℃以下の場所とする。(50℃以上の場合は透明樹脂板の許容応力度が変わるため、別途確認が必要。) 陸側からの荷重が作用しない位置に設置すること。(作用させる場合は別途検討が必要。)
留意事項	<ul style="list-style-type: none"> 標準寸法 (1000mm×2000mm) を超えるサイズの場合、水密試験を行うこと。 シーウォール設置に伴いコンクリート壁が欠損するため、適切な安定照査・配筋照査を行うこと。 設計外力については、適切に設定すること。 設計基準等が異なるため、建築構造物には使用しないこと。 使用状況、メンテナンス状況によっては、透明樹脂板の視認性が悪くなる。必要な視認性に応じた。メンテナンス及び交換をおこなうこと メンテナンス時に有機溶剤を使用しないこと。 火の使用など高温が発生する場所には設置しないこと。 耐荷力は別途資料「シーウォール設計・施工マニュアル」に掲載。

設置箇所	宮城県気仙沼市：魚浜港	
施工時期	令和1年7月	
発注者	宮城県気仙沼地方振興事務所	
防潮堤高	H=3.7m	
サイズ	W2000×H1000	
設置箇所	岡山県津山市山下	
施工時期	令和1年6月	
発注者	岡山県美作県民局	
防潮堤高	H=1.2m	
サイズ	W1000×H500	
設置箇所	兵庫県洲本市：洲本港	
施工時期	平成30年6月	
発注者	兵庫県淡路県民局	
防潮堤高	H=1.2m	
サイズ	W8000×H500	

設置箇所	兵庫県神戸市兵庫区	
施工時期	平成 30 年 3 月	
発注者	神戸市みなと総局	
防潮堤高	H=1.0m	
サイズ	W2000×H900 W2000×H850	
設置箇所	広島県福山市：福山港	
施工時期	平成 29 年 6 月	
発注者	広島県東部建設事務所	
防潮堤高	H=1.45m	
サイズ	W8000×H500	
設置箇所	岩手県釜石市：釜石港（二期）	
施工時期	平成 28 年 3 月	
発注者	岩手県沿岸広域振興局	
防潮堤高	H=6.10m	
サイズ	W560×H1660 W1050×H1660	

設置箇所	岩手県釜石市：釜石港	
施工時期	平成 26 年 5 月	
発注者	岩手県沿岸広域振興局	
防潮堤高	H = 6.10 m	
サイズ	W650×H1750	
設置箇所	大分県別府市：別府港	
施工時期	平成 26 年 3 月	
発注者	九州地方整備局	
防潮堤高	H = 1.70 m	
サイズ	W2960×H810	
設置箇所	岩手県釜石市：釜石港湾事務所	
施工時期	平成 25 年 3 月	
発注者	岩手県釜石港湾事務所	
防潮堤高	H = 1.40 m	
サイズ	W1000×H1000	

設置箇所	広島県広島市南区：宇品港	
施工時期	平成 22 年 8 月	
発注者	広島県広島港湾振興事務所	
防潮堤高	H = 2.20 m	
サイズ	W1860×H1430	
設置箇所	兵庫県神戸市中央区：神戸港	
施工時期	平成 20 年 6 月	
発注者	神戸みなと総局	
防潮堤高	H = 1.50 m	
サイズ	W1220×H1210	

C. 評価資料

目 次

1. 評価技術	C - 1
1.1 技術の概要	C - 1
1.1.1 シーウォールとは	C - 1
1.1.2 技術の特徴	C - 1
1.1.3 製品の仕様	C - 2
1.1.4 アクリル、ポリカーボネートの特性	C - 5
1.1.5 施工法	C - 17
1.1.6 適用範囲	C - 24
1.1.7 留意事項	C - 24
2. 開発の主旨	C - 25
3. 開発目標	C - 25
4. 開発目標の評価方法	C - 26
5. 開発目標の評価	C - 27
5.1 開発目標 (1)	C - 27
5.2 開発目標 (2)	C - 44
5.3 開発目標 (3)	C - 50
6. 評価の結果	C - 55
6.1 開発目標 (1)	C - 55
6.2 開発目標 (2)	C - 55
6.3 開発目標 (3)	C - 55

1. 評価技術

1.1 技術の概要

1.1.1 シーウォールとは

シーウォールは、透明樹脂板を用いた防潮壁用枠付き透明窓である。高潮時の波圧、津波波圧、漂流物等による衝突荷重に対して適切な強度計算を行い、設計外力に対して十分安全な板厚、枠形状を決定する。透明樹脂板は温度変化による伸縮が懸念されるが、シーウォールの枠部分は部材に孔を空けることなく、伸縮を吸収する構造であり、かつ水密性を確保できる構造となっている。

1.1.2 技術の特徴

(1) 環境保全性

- ・視認できる構造であるため、防潮壁による閉塞感を緩和すると同時に景観面でも現況を損なわない。
- ・樹脂として再資源化再生利用できるリサイクル可能資材である。

(2) 施工性

- ・枠付き構造であるため施工効率がよい。

(3) 耐久性

- ・高速道路の遮音壁、水族館などで用いられており、耐久性に優れており、ほとんど劣化しない。

(4) 安全性

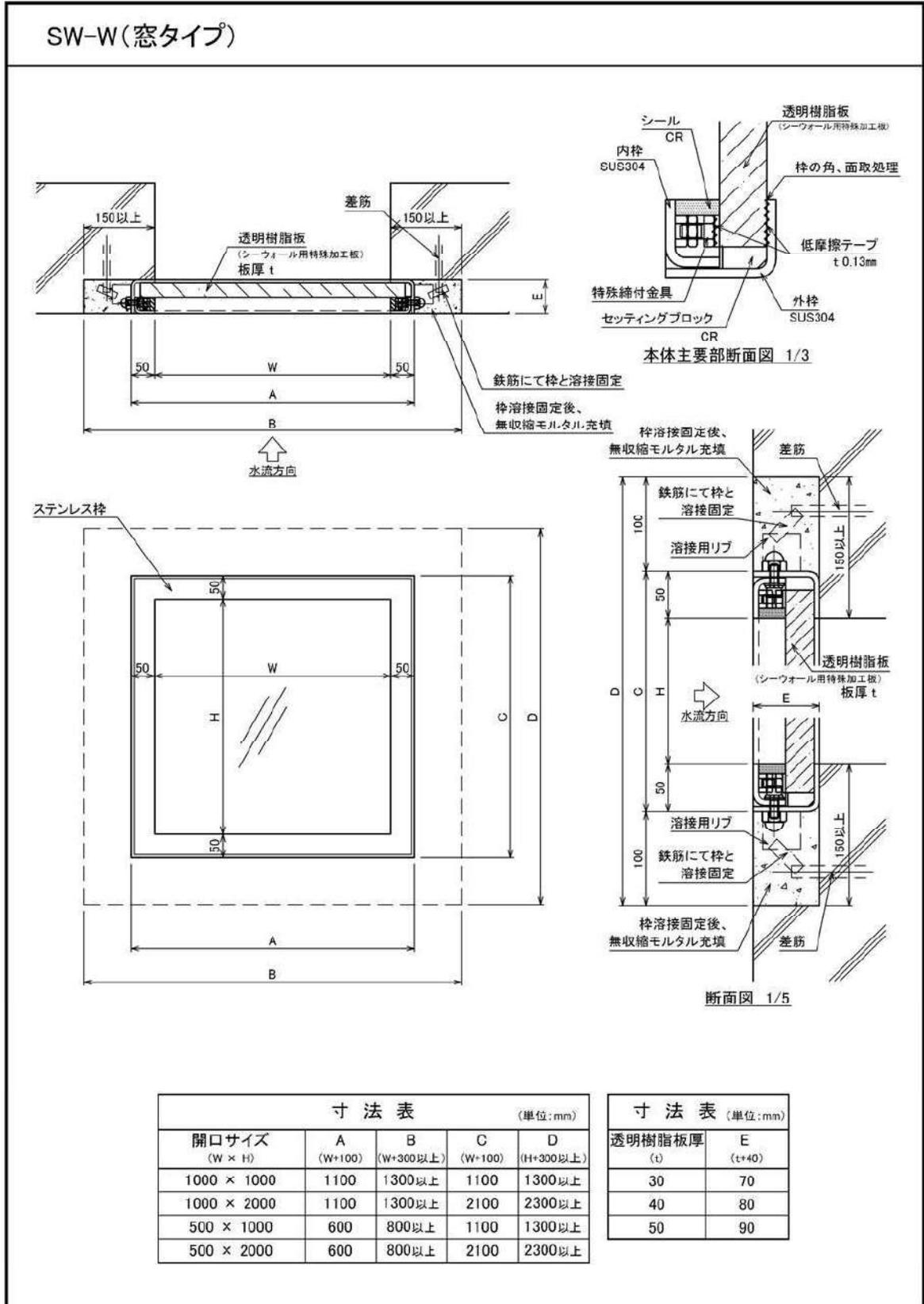
- ・設計外力に対して十分安全な板厚を決定する。
- ・想定外の大きな荷重により破損した場合でも、透明樹脂板は飛散し難い性質であるため安全性に優れる。

(5) 維持管理性

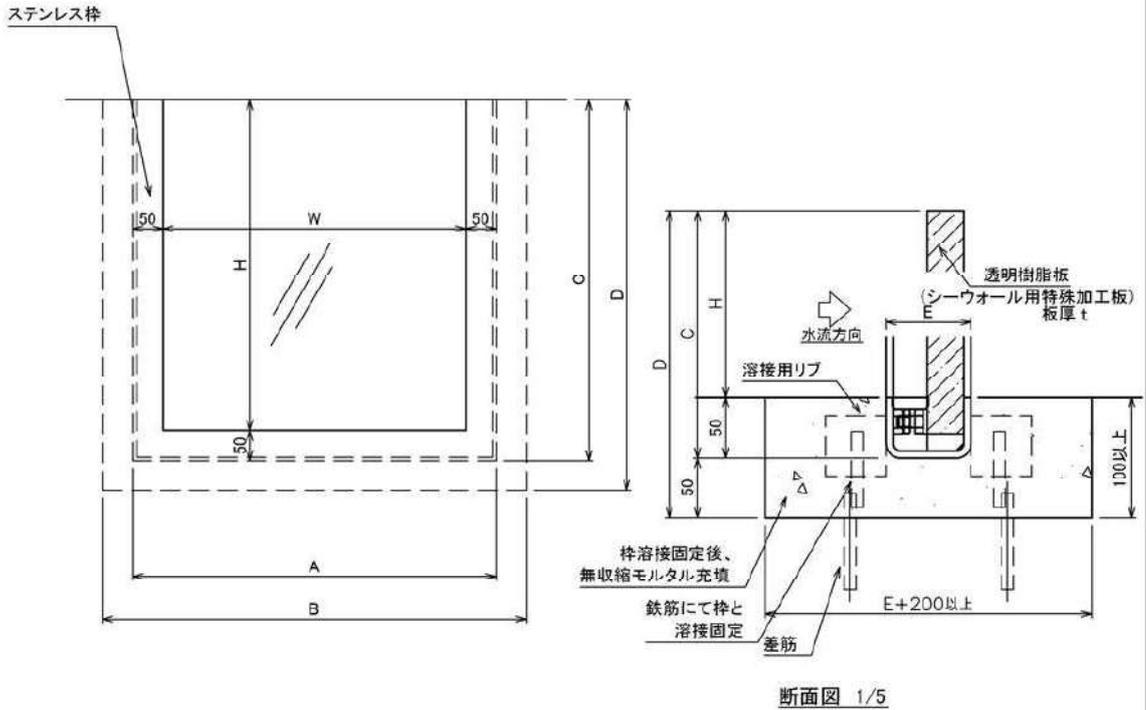
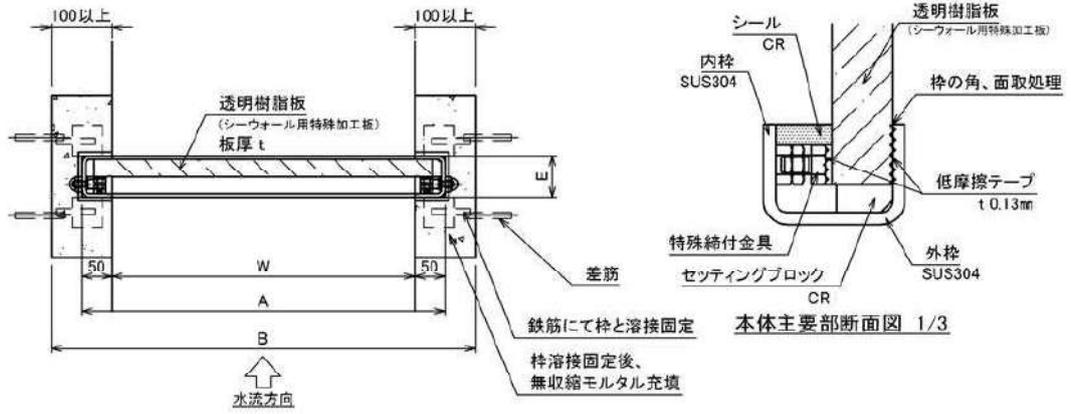
- ・脱着可能な枠構造により、透明樹脂板・シール材・締付金具の点検・交換が容易に行える構造である。

1.1.3 製品の仕様

シーウォール標準仕様を以下に示す。



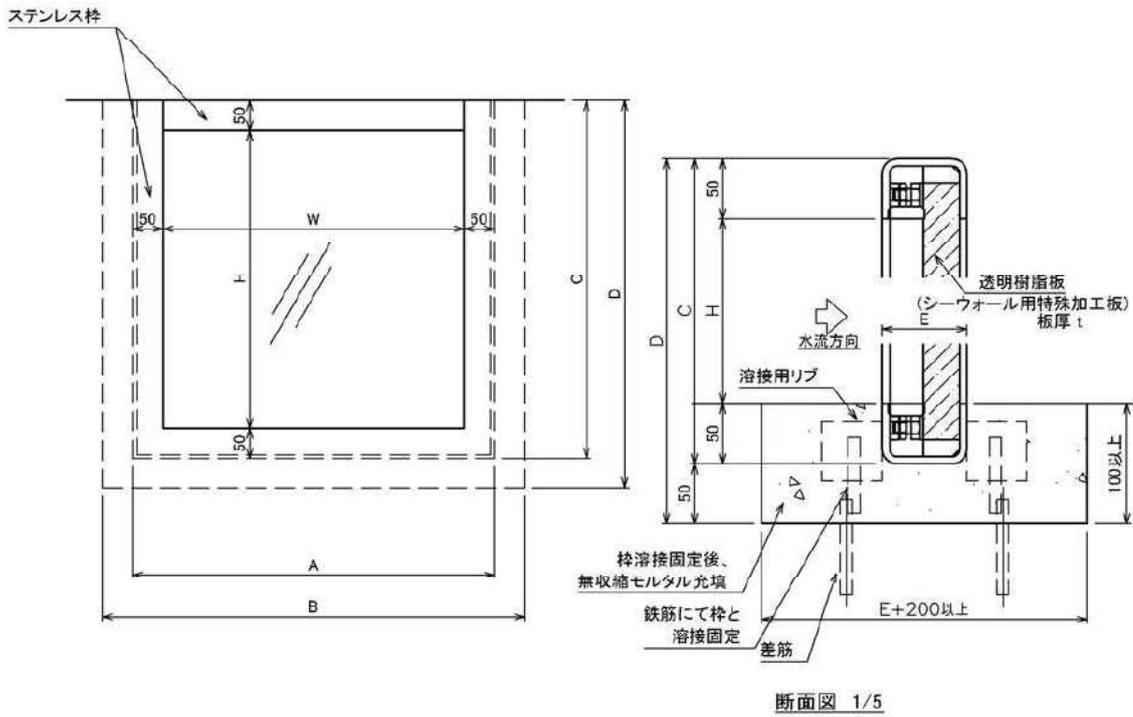
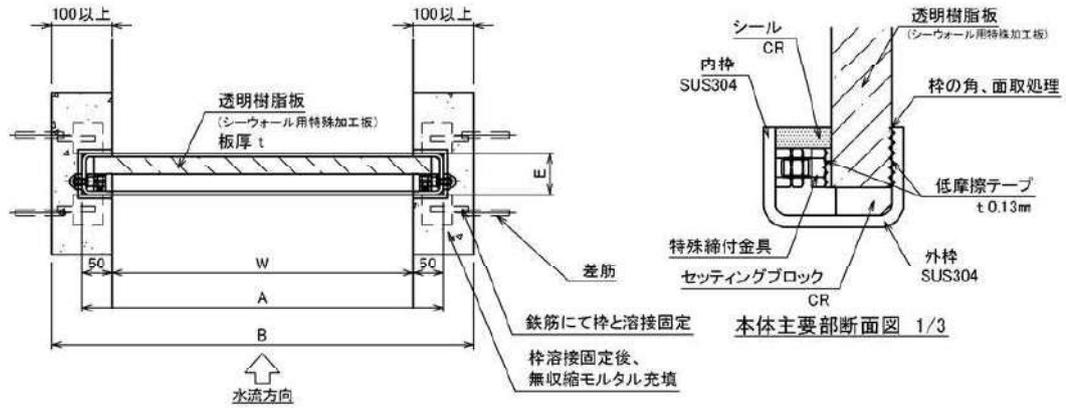
SW-U-3(かさ上げ3方枠タイプ)



寸法表 (単位:mm)				
開口サイズ (W × H)	A (W+100)	B (W+200以上)	C (H+50)	D (H+100以上)
2000 × 510	2100	2200以上	560	580以上
2000 × 1000	2100	2200以上	1050	1100以上

寸法表 (単位:mm)	
透明樹脂板厚 (t)	E (t+40)
30	70
40	80
50	90

SW-U-4(かさ上げ4方枠タイプ)



開口サイズ (W × H)	A (W+100)	B (W+200以上)	C (H+100)	D (H+150以上)
2000 × 480	2100	2200以上	580	630以上
2000 × 1000	2100	2200以上	1100	1150以上

透明樹脂板厚 (t)	E (t+40)
30	70
40	80
50	90

1.1.4 アクリル、ポリカーボネートの特性

シーウォールは、ガラスを凌ぐと言われる高い透明度を持つ透明樹脂板を使用している。

主要部材の透明樹脂板はアクリル又はポリカーボネートが選定されるが以下の評価は耐候性が高く、推奨されるアクリルを対象としポリカーボネートもこの評価に準ずるものとされる。以下にアクリルおよびポリカーボネートの特性を示す。

(1) アクリル板の一般的性質

表.1-1 アクリル板の一般的性質

板厚：3mm

	項目	試験方法	単位	アクリル板
	比重	JIS K 7112		1.19
光学的性質	屈折率(N _D)	JIS K 7142	—	1.49
	全光線透過率	JIS K 7361-1	%	93
	曇り値	JIS K 7136	%	<1
機械的性質	引張試験	JIS K 7162	MPa	73~78
	引張強さ(破断)		MPa	2.9~3.2×10 ³
	弾性係数		%	4~7
	曲げ試験	JIS K 7171	MPa	108~127
	破壊強さ		MPa	2.9~3.4×10 ³
	弾性係数			
	圧縮試験	JIS K 7181	MPa	108~127
	降伏強さ		MPa	3.2×10 ³
	弾性係数		MPa	62
	剪断強さ	JIS K 7214	MPa	62
衝撃性質	アイゾット(ノッチ付き)	JIS K 7110	kJ/m ²	1.8~2.2
	シャルピー(ノッチなし)	JIS K 7111	kJ/m ²	18~22
	ロックウェル硬さ	JIS K 7202-2	(Mスケール)	97~100
熱的性質	加熱成形温度範囲		℃	130~180
	荷重たわみ温度	JIS K 7191-2	℃	90~100
	線膨張係数	JIS K 7197	℃ ⁻¹	7×10 ⁻⁵
	最高連続使用温度		℃	70~80
	熱伝導率	JIS A 1412	W/m・K	0.21
電気的性質	熱比	JIS K 7123	kJ/kg・K	1.5
	表面固有抵抗率	JIS K 6911	Ω	>10 ¹⁶
	体積固有低効率	※ K 6911	Ω・cm	>10 ¹⁶
	絶縁抵抗	※ K 6911	Ω	>10 ¹⁵
	絶縁耐力	(注1)	kV/mm	20
	誘電率(60サイクル)	(注2)		4
	(10サイクル)			4
	(10サイクル)			3
	誘電正接(60サイクル)	(注2)		0.06
	(10サイクル)			0.04
(10サイクル)			0.02	
耐アーク性	JIS K 6911	—	痕跡なし	
その他の性質	吸水率(24時間)	JIS K 7209	%	0.3
	水溶損失		%	0.0
	臭		—	なし
	味		—	なし

(注1) JIS K6911に準じて測定した。但し電圧上昇速度は4kv/秒で上昇させ、その破壊電圧を厚さで除して算出した。

(注2) JIS K6911に準じて測定した。但し主電極外径50mm、ガード電極内径70mm、対電極直径90mmのものを使用した。

(2) アクリル板の温度変化による伸縮

1) 線膨張係数

アクリル板の線膨張係数は、温度によって 図. 1-1 のように変化する。

伸縮量

2) 平均的な伸縮量は次式で計算する。

$$\Delta l = l \times \frac{\alpha^1 + \alpha^2}{2} \times (t^2 - t^1)$$

Δl 伸縮量

l アクリル板の長さ (cm)

t^1 使用最低温度 (°C)

t^2 使用最高温度 (°C)

α^1 温度 t^1 における線膨張係数 (°C⁻¹)

α^2 温度 t^2 における線膨張係数 (°C⁻¹)

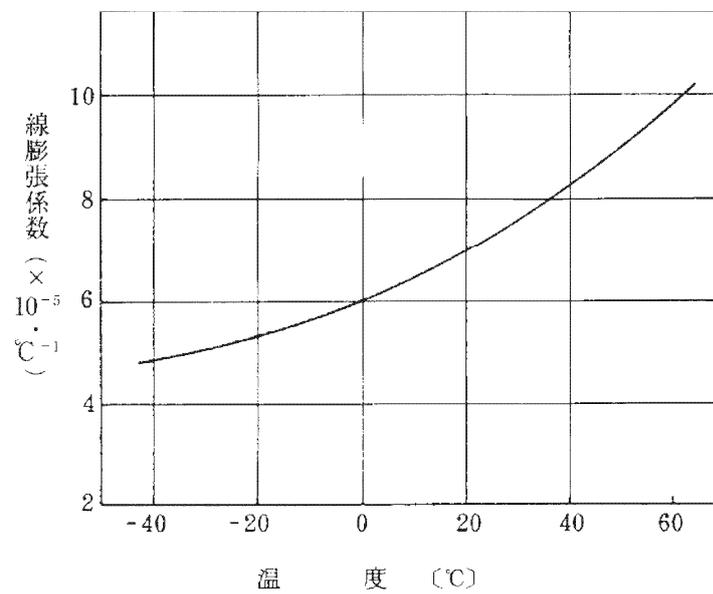


図. 1-1 アクリル板の線膨張係数

(3) アクリル板の耐薬品性

1) 耐酸性

表.1-2 アクリル板の耐酸性

薬品名	濃度・条件	状態	判定
塩酸	10% 20℃	半年間で表面が僅かにくもる	○
	60℃	〃	○
	31% 20℃	〃	○
	60℃	〃	○
硫酸	10% 20℃	1年間で変化なし	◎
	60℃	〃	◎
	30% 20℃	1年間で周辺部が僅かに侵される	○
	60℃	〃	○
	98% 20℃	1日で膨潤する	×
	60℃	〃	×
硝酸	10% 20℃	5年間変化なし	◎
	60℃	半年間 〃	◎
	100% 20℃	1日で膨潤する	×
りん酸	10% 20℃	5年間変化なし	◎
	60℃	半年間 〃	◎
ふっ酸	濃酸 20℃	1日で膨潤する	×
	10% 20℃	5年間変化なし	◎
酢酸	10% 20℃	5年間変化なし	◎
	100% 20℃	1日で膨潤する	×
無水酢酸	20℃	表面が侵される	△
	20℃	5年間変化なし	◎
しゅう酸	飽和溶液 20℃	半年間 〃	◎
	60℃	半年間 〃	◎
ぎ酸	10% 20℃	5年間 〃	◎
	60℃	半年間で侵される	×
	90% 20℃	1週間 〃	×
	20℃	1日で溶解する	×
青酸	液体 20℃	表面が侵される	×
	ガス 20℃	3年間で表面が僅かに侵される	○
乳石酸	飽和溶液 20℃	5年間変化なし	◎
	60℃	半年間 〃	◎
くえん酸	飽和溶液 20℃	5年間 〃	◎
	60℃	半年間 〃	◎

2) 耐アルカリ性

表.1-3 アクリル板の耐アルカリ性

薬品名	濃度・条件	状態	判定
アンモニア水	35% 20℃	半年間変化なし	◎
	60℃	表面が侵される	△
液体アンモニア	(100%) 20℃	〃	×
	加圧 60℃	〃	×
かせいソーダ	濃厚溶液 20℃	5年間変化なし	◎
	60℃	半年間 〃	◎
かせいカリ	20℃	5年間 〃	◎
	60℃	半年間 〃	◎
炭酸ソーダ	20℃	5年間 〃	◎
	60℃	半年間 〃	◎

3) 耐無機塩類水溶液

表.1-4 アクリル板の耐薬品性

薬品名	濃度・条件	状態	判定
明ばん	飽和溶液 20℃	5年間変化なし	◎
塩化アンモン	〃 20℃	〃 〃	◎
塩化カルシウム	〃 20℃	3年間 〃	◎
塩化第二鉄	10% 20℃	1年間 〃	◎
塩化カリ	飽和溶液 20℃	〃 〃	◎
重クロム酸カリ	10% 20℃	〃 〃	◎
過マンガン酸カリ	1/10規定液 20℃	〃 〃 (汚染される)	◎
次亜塩酸ソーダ	飽和溶液 20℃	〃 〃	◎
チオ硫酸ソーダ	60℃	半年間 〃	◎
	40% 20℃	5年間 〃	◎

4) 耐有機薬品性

表. 1-5 アクリル板の耐有機薬品性

<p>常温で侵されないもの (注)</p>	<p>ヘキサン、ケテン、石油エーテル、パラフィン、食用油、グリセリン、エチレングリコール、メチルアミン、ステアリン酸エステル、ジーゼル油、フタル酸エステル、非イオン系洗剤、石油（芳香族成分の少ないもの）、変圧器油、オリーブ油</p>
<p>常温で表面が侵されたり、曇ったりするもの</p>	<p>メチルアルコール (10、50、100%)、エチルアルコール (10、50、100%)、イソプロピルアルコール、ブチルアルコール、アリルアルコール、アミルアルコール、シクロヘキサノール、メチルシクロヘキサノール、ベンジルアルコール、クレゾール、ソルベントナフサ、ナフタリン、テトラリン、テカリン、メチルナフタリン、シクロヘキサン、シクロヘキセン、シクロヘキサノン、酢酸アミル、酢酸ブチル、安息香酸メチル、乳酸エチル、サリチル酸メチル、四塩化炭素、パークロルエチレン、四塩化エチレン、モノクロルベンゼン、ジクロルベンゼン、塩化ベンゾイル、塩化ブチル、二臭化エチレン、二硫化炭素、ニトロベンゼン、ベンズアルデヒド、ブチルアルデヒド、アセトニトリル、アニリン、トルイジン、エチルアニリン、アセトフェノン、シリコン油類、燐酸エステル類</p>
<p>常温で溶解するもの</p>	<p>クロロホルム、アセトン、トルエン、キシレン、三塩化エチレン、二塩化メチレン、三塩化エチレン、氷酢酸、酢酸エチル、テトラヒドロフラン、ピペリジン、ベンゼン、メチルエチルケトン、フェノール</p>

(注) 長期間の使用で表面がわずかに侵されるものを含む。

(4) アクリルの許容応力度

1) アクリルの許容応力度 (20℃の場合) を表.1-6 に示す。

表.1-6 アクリル板の設計データ (20℃)

項目	単位	荷重
弾性係数	MPa	2.9×10^3
許容応力 (引張強さ)		
屋外	MPa	14.7
屋内		19.6
ポアソン比	-	0.35

2) 引張強さ及び弾性係数は温度により変化する。(図 1-2 に示す。)

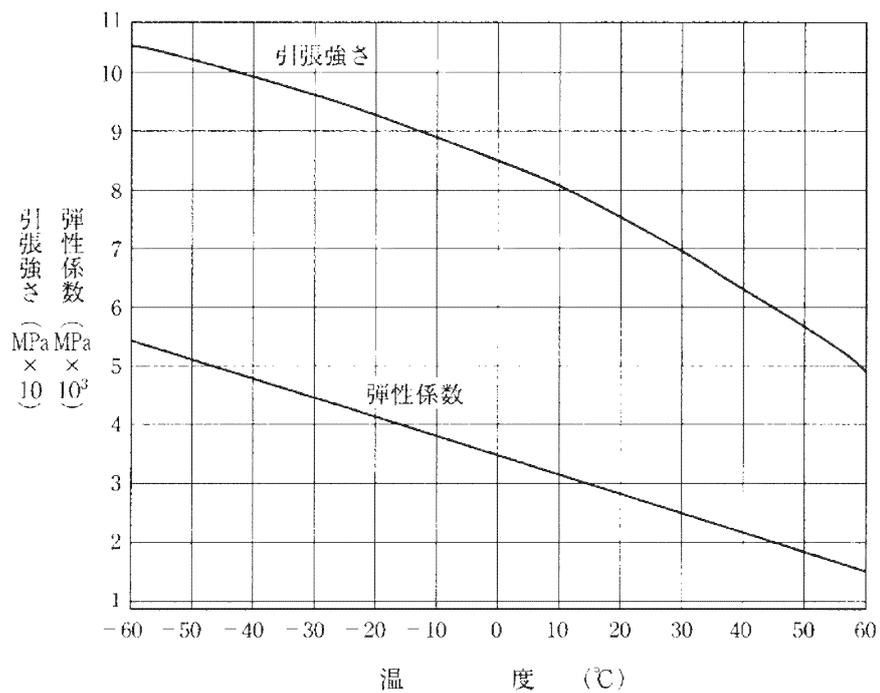


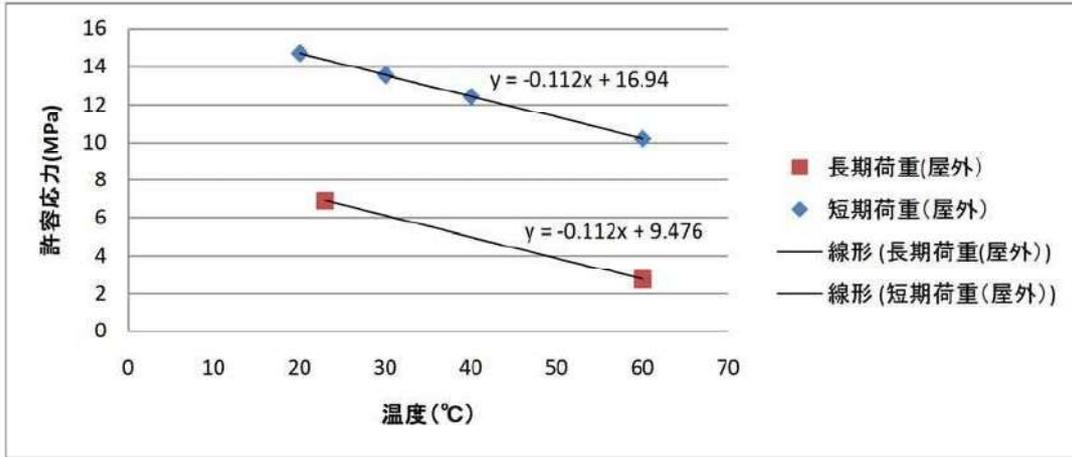
図.1-2 引張強さ及び弾性係数と温度の関係

3) 温度変化を考慮した許容応力度の設定

材料の表面温度が50℃以下の場所とし許容応力度を設定する。

(アクリル板の許容応力度の設定は、水族館の水槽のような永続的な荷重が作用する場合のみを長期荷重として取扱うため、高潮時や津波時は短期荷重扱いとなる。)

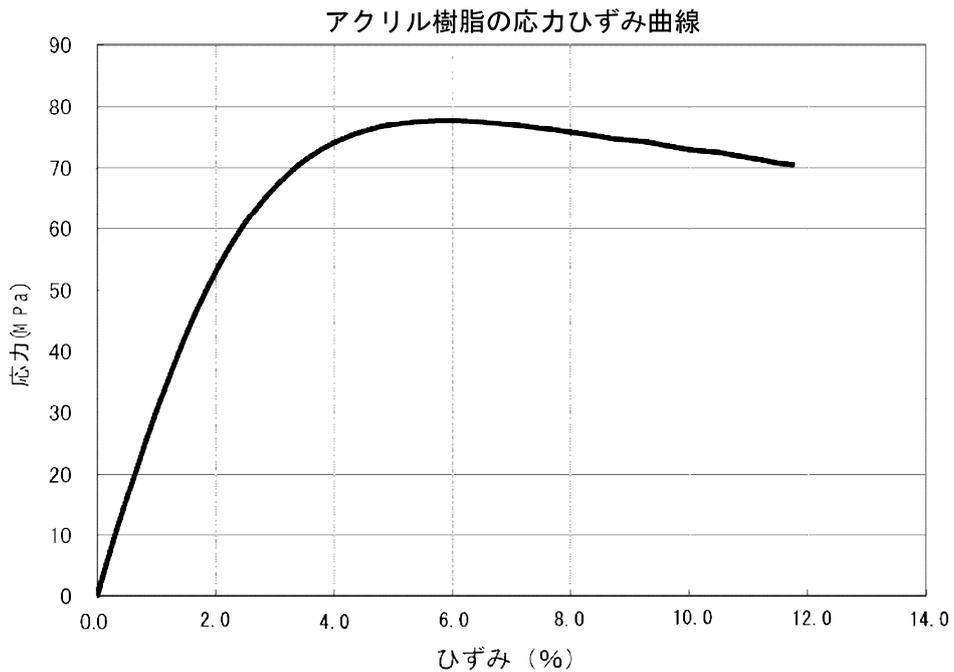
図. 1-3 温度と許容応力度の関係



※1 材料の表面温度が50℃以下の場所とし許容応力度を設定する。

許容応力度 (短期) = $-0.112 \times 50 + 16.94 = 11.34 \text{Mpa} \rightarrow 11.3 \text{Mpa}$ とする。

4) アクリル樹脂の応力ひずみ曲線



(5) ポリカーボネート板の一般的性質

	評価項目	試験法	単位	特性値	JIS K 6735 規格値
機 械 的 性 質	比重	JIS K 7112	-	1.2	-
	引張降伏応力	JIS K 7161-2	MPa	63	55以上
	引張破壊時呼びひずみ	JIS K 7161-2	%	90	60以上
	引張弾性率	JIS K 7161-2	MPa	2250	2200以上
	圧縮降伏応力	ASTM D 695 JIS K 7181	MPa	78	-
	剪断破壊応力	JIS K 7214	MPa	65 (厚さ3mm)	-
	曲げ応力	JIS K 7171	MPa	91	-
	曲げ弾性率	JIS K 7171	MPa	2300	-
	引張衝撃強さ	JIS K 7160	kJ/m ²	220 (厚さ3mm)	150以上 (厚さ<4mm)
	シャルピー衝撃値	JIS K 7111	kJ/m ²	84 (厚さ3mm) 13 (厚さ5mm)	- 6以上 (厚さ≥4mm)
ロックウェル硬度	JIS K 7202	-	M-67 R-125	-	
熱 的 性 質	荷重たわみ温度	JIS K 7191-2A	℃	139	130以上
	ピカット軟化温度	JIS K 7206	℃	150	145以上
	脆化温度	ASTM D 764	℃	-100以下	-
	熱伝導率	ASTM D 177	W/m・K	0.19	-
	線膨張係数	JIS K 7140-1	℃ ⁻¹	6.5×10 ⁻⁵	-
電 気 的 性 質	比誘電率 (60Hz)	ASTM D 150	-	2.95	-
	比誘電率 (1MHz)	ASTM D 150	-	2.90	-
	アーク抵抗	ASTM D 495	sec	110	-
光 学 的 性 質	屈折率	ASTM D 542	-	1.587	-
	全光線透過率	JIS K 7361-1	%	90 (厚さ3mm)	85以上 (厚さ3mm)

※試験片の厚さが記載されていない場合の記載数値は、試験片厚さ5mmの実測値であって保証値ではありません。

(6) ポリカーボネート板の温度変化による伸縮

線膨張率は結晶性や配向によって異なるが、ポリカーボネートの線膨張係数は $6.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ です。

他のプラスチックの線膨張率もほぼ同程度ですが、金属材料に比べると4～5倍の値ですから、高温度差雰囲気では金属材料と組み合わせて使用する場合は設計上の注意が必要です。

ポリカーボネートと他建築材料の線膨張係数比率

種 類	線膨張係数 ($\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
ポリカーボネート	6.5
ガラス	0.90
銅	1.08
鑄鉄	1.2
銅	1.8
亜鉛	2.8
ステンレス鋼	1.7
アルミニウム	2.32

(7) ポリカーボネート板の耐薬品性

ポリカーボネートプレートは一般にアルコール、塩類、弱酸等に比較的安定であり、弱アルカリ、強酸にもある程度耐えますが、強アルカリ、芳香族炭化水素には溶解します。また耐薬品性を論じる場合に注意しなければならないのは温度と応力による影響であり、常温で安定であっても高温になると影響の出る薬品や、応力の存在する状態で接触させるとクラックを発生させる薬品も数多くあります。

このようにポリカーボネートプレートの耐薬品性は他の樹脂に比べて必ずしも優れているとはいえませんが、使用に際しては薬品の種類、濃度、使用条件（温度、圧力、応力、期間など）を充分吟味する必要があります。

試 験 結 果

試験片：1mm 3号ダンベル いずれも一週間浸漬後の値です。

(○：抵抗性あり △：抵抗性に限度あり ×：抵抗性なし)

薬 品 名	温度 (℃)	外 観 変 化	判 定	
無 機 酸				
硫 酸 10%	20	な し	○	
	70	な し	○	
	80	な し	○	
塩 酸 10%	20	な し	○	
	70	な し	△	
	80	褐色斑点生ず	△	
硝 酸 10%	70	黄 変	△	
	20%	20	な し	○
		70	黄 変	△
リ ン 酸 100%	20	な し	○	
硼 酸 (冷飽)	70	な し	○	
ク ロ ム 酸 10%	20	な し	○	
無 機 ア ル カ リ				
苛 性 ソ ー ダ 1%	80	クラック	×	
	5%	20	クラック	×
		80	白 濁	×
		80	白濁、クラック	×
水酸化カルシウム (5%) (冷飽)	70	白 濁	×	
	70	クラック	×	

薬品名	温度(℃)	外観変化	判定
無機塩			
塩化ナトリウム(冷飽)	70	なし	○
塩化カリウム(※)	※	なし	○
塩化カルシウム(※)	※	なし	○
塩化マグネシウム(※)	※	なし	○
塩化第二銅(※)	※	なし	○
塩化第二錫(稀)	※	なし	○
塩化亜鉛(冷飽)	※	なし	○
硫酸ナトリウム(※)	※	なし	○
硫酸銅(※)	※	なし	○
硫酸アルミ(※)	※	なし	○
硝酸カリウム(※)	※	なし	○
臭化カリウム(※)	※	なし	△
重クロム酸カリ(※)	※	なし	△
過マンガン酸カリ(18%)	※	なし	○
過塩素酸カリ(1%)	※	なし	○
炭酸ソーダ(冷飽)	※	なし	△
亜硫酸ソーダ(※)	※	なし	△
硫化ソーダ(※)	※	わずかに白濁	×
塩素酸ソーダ(※)	※	なし	○
硫化アンモニウム(※)	※	粉化	×
	20	なし	○
有機酸			
酢酸 10%	20	なし	○
	70	クラック	×
50%	20	なし	△
100%	20	白濁	×
ギ酸 50%	70	クラック	×
100%	20	なし	△
安息香酸 0.06%	70	なし	○
1%	70	なし	×
10%	20	なし	×
乳酸(冷飽)	70	なし	○
酢酸(※)	70	なし	○
ピタリン酸(※)	70	なし	○
有機溶媒			
メタノール	20	やや白濁	△
エタノール	20	なし	○
	70	やや白濁	×
イソプロパノール	70	なし	○
n-ブタノール	20	なし	○
	70	やや白濁	×
エチレングリコール	20	なし	○
	70	なし	△
エチルエーテル	20	白濁	×
アセトン	20	白濁	×
メチルエチルケトン	20	白濁, 粉化	×
四塩化炭素	20	白濁	×
二硫化炭素	20	白濁	×

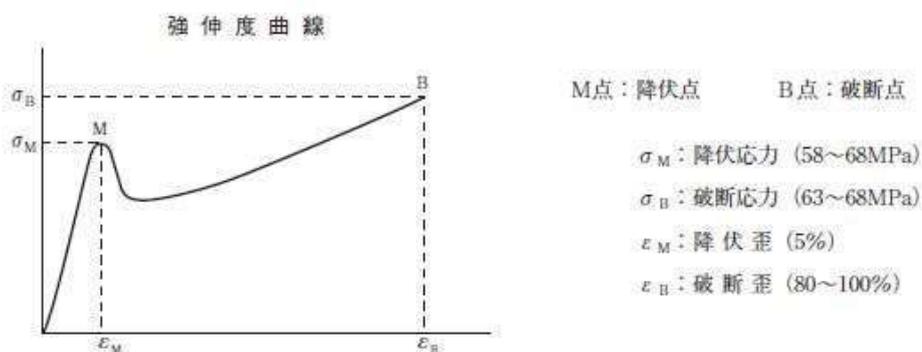
薬品名	温度(℃)	外観変化	判定
石油系炭化水素			
ベンゼン	20	膨潤、溶解	×
トルエン	20	膨潤、溶解	×
石油ベンジン	20	なし	○
ガソリン	20	なし	×
灯油	20	なし	○
	80	なし	○
重油	20	なし	○
	100℃×3hr	なし	○
トランス油	20	なし	○
シリコン油	20	なし	○
フレオングラス	20	なし	○
プロパンガス	20	なし	○
都市ガス	20	なし	○

(8) ポリカーボネートの許容応力度

1) ポリカーボネートの許容応力度を下表に示す。

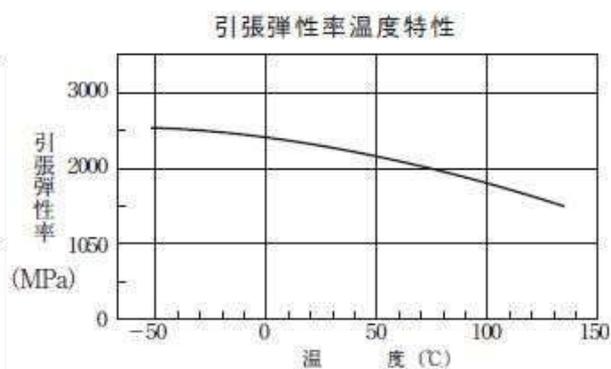
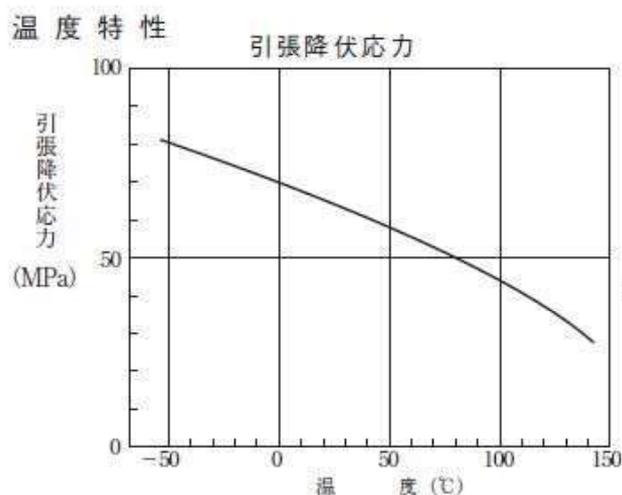
	実用許容応力MPa(kgf/cm ²)	
	引 張	圧 縮
間けつ負荷(室温)	27.5(280)	41.2(420)
* (52℃空中)	23.5(240)	23.5(240)
* (100℃空中)	20.6(210)	20.6(210)
* (室温、湿気、蒸気中)	27.5(280)	41.2(420)
永久負荷(室温)	13.7(140)	13.7(140)
繰返し又は振動負荷	6.9(70)	6.9(70)

2) 引張強さ及び弾性係数は温度により変化する。



試験片を引張ると、上記のようにまず降伏点Mでいったん応力が下がります。更に引張ると、破断点Bまで徐々に増加します。M点からB点までが長いのがポリカーボネートプレートの特長であり、このことから、伸び率(引張破壊時呼びひずみ)の良いことがわかります。

引張降伏応力というのは降伏応力の σ_M のことをいいます。



1.1.5 施工法

(1) 施工フロー図

シーウォールの施工手順を以下に示す。

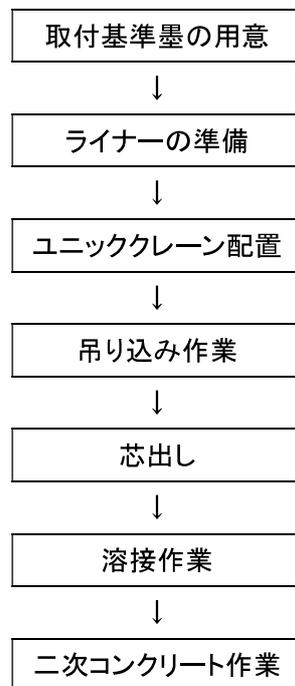
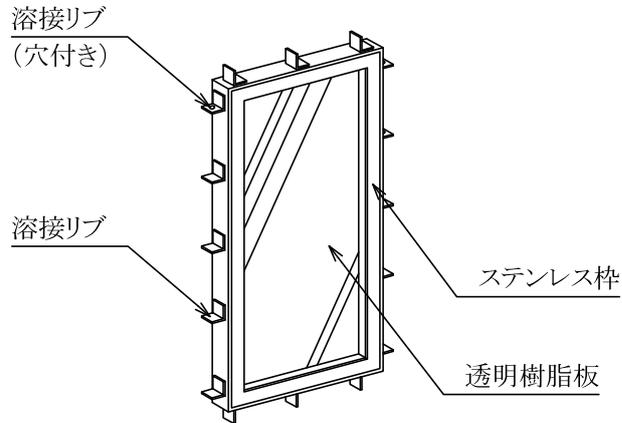


図. 1-4 シーウォール施工フロー図

(2) 製品概要



【付属品】

- ・ライナー（レベル調整ボルト付）
- ・アイボルト&ナット
- ・キャンバー
- ・溶接用鉄筋棒
- ・シャックル

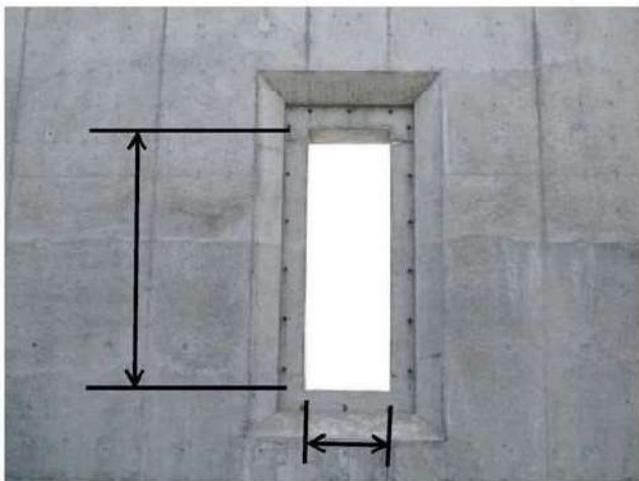
【作業に必要な工具類】

- ・溶接器具（溶接器、溶接棒他）
- ・17mmレンチ・スパナ
- ・下振り
- ・スパッタシート
- ・水平器
- ・ベルトスリング
- ・足場（脚立・立馬）
- ・無収縮モルタル&増強剤

(3) 施工写真



<陸側からの外観>



<海側からの外観>

作業前の事前調査にて、開口寸法・差筋寸法が図面通りであるかの確認をする。現場担当者との打合せの上、取付基準の確認をする。



<取付基準墨の用意>

取付基準に従ってコンクリート躯体にレーザー又は水平器を使い基準墨を打つ。

あらかじめ基準墨があればこの作業は不要です。



<差筋の状況>



<ライナーの準備>

レベル調整用専用ファイナーを据える。



<ユニッククレーン配置>

作業範囲、車両の安全を考慮し配置する。



<揚重の方法>

本体上部の溶接リブの、Iボルト取付用穴
を使用し揚重作業を行う。



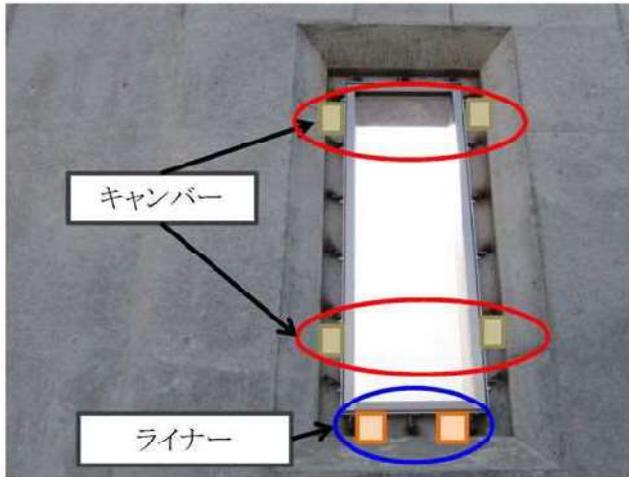
<吊り込み作業>

所定の位置へ本体を吊り込みを行う。
本体をコンクリート躯体に密着させ
仮置きをする。



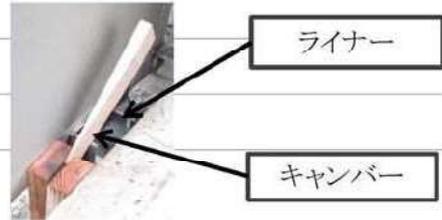
<芯出し>

専用ライナー、キャンバーで芯出しをする。



< 芯出し >

ライナー、キャンバーで芯出しをする。



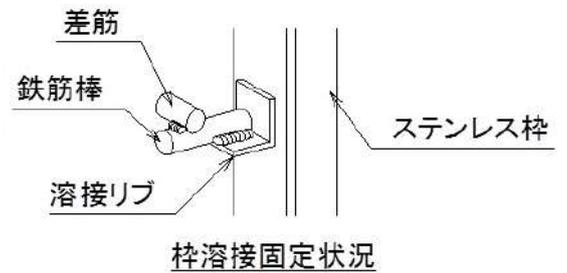
< 溶接作業 >

本体の溶接リブと差筋を、鉄筋にて溶接固定をする。

注)スパッタシートにてアクリル板を養生し作業を行う。



< 溶接状況 >





＜二次コンクリート作業＞

枠の外周部を無収縮モルタルで
仕上げる。

1.1.6 適用範囲

シーウォールの適用範囲を以下に示す。

- (1) 港湾施設及び海岸保全施設の防潮壁。
- (2) 材料の表面温度が 50℃以下の場所とする。
- (3) 陸側からの荷重が作用しない位置に設置すること。（作用させる場合は別途検討が必要）

1.1.7 留意事項

シーウォールの設置に際しては以下の点に留意すること。

- (1) 標準寸法（1000mm×2000mm）を超えるサイズの場合、水密試験を行うこと。
- (2) シーウォール設置に伴いコンクリート壁が欠損するため、適切な安定照査・配筋照査を行うこと。
- (3) 設計外力については、適切に設定すること。
- (4) 設計基準等が異なるため、建築構造物には使用しないこと。
- (5) 使用状況、メンテナンス状況によっては、透明樹脂板の視認性が悪くなる。必要な視認性に応じた、メンテナンス及び透明樹脂板の交換をおこなうこと。
- (6) メンテナンス時に有機溶剤を使用しないこと。（耐薬品性の項目参照。）
- (7) 火の使用など高温が発生する場所には設置しないこと。
- (8) 耐荷力は別途資料「シーウォール設計・施工マニュアル」に掲載。

2. 開発の主旨

近年、既設防潮壁の天端高は見直され、防潮壁の必要天端高は既設天端高と比べかなり高くなる傾向にある。高い天端高の防潮壁はコンクリート壁による閉塞感があると同時に景観面にも悪影響を与える。また、津波や高潮の災害時に防潮壁より海側の避難状況が確認しにくくなる。これらを解決するために、防潮壁の外側が視認できる土木資材として、**防潮壁用枠付き透明窓**が開発された。従来は埋め込みによる方式、ボルト締めによる方式であったが、本技術は枠部材を用いる事により、部材の温度収縮に対応できるだけでなく、透明樹脂板と枠との一体化構造にすることにより、比較的、施工性・維持管理性を高めることが可能とされている。

3. 開発目標

- (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。
- (2) 防潮壁として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。
- (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。

4. 開発目標の評価方法

評価項目	確認項目	確認方法	結果
開発目標 (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。	透明樹脂板の取り外し状況。	製品を用いて実際に試す。	枠無し構造と比較して施工性は良く、枠から透明樹脂板を取り外しができることが確認でき、取り外しが可能であること維持管理性が高いことが確認された。
開発目標 (2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。	水圧作用時の水密性。	水圧試験を行い、水密性を確認する。	水深 10m に相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は 6.10×10^{-8} (m ³ /m/s) であることが確認された。
開発目標 (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。	温度変化試験	加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認する。	温度変化 25℃ (加熱前の表面温度が 25℃ ならば 50℃ までの変化) 及び温度変化 50℃ (加熱前の表面温度が 0℃ ならば 50℃ までの変化) が生じた場合のアクリル及びポリカーボネートの伸縮を十分許容できることが確認された。

5. 開発目標の評価

5.1 開発目標 (1)

【目標内容】

施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため主要部材であるアクリル又はポリカーボネートの透明樹脂板が取り外し可能であること。

【確認方法】

- ① 枠付き構造と枠無し構造の施工方法・施工効率を比較する。
- ② 維持管理性の確認として透明樹脂板を取り外す。

【確認①：施工性】

(1) 施工要領 (概略)

i) シーウォールの場合

- ① ラフタークレーン等で本体を先施工された躯体箱抜き箇所へ搬入し、基準墨により芯出しを行う。先施工された差し筋と本体工を溶接する。
- ② 躯体と本体工の間隙を無収縮モルタルにて固定する。

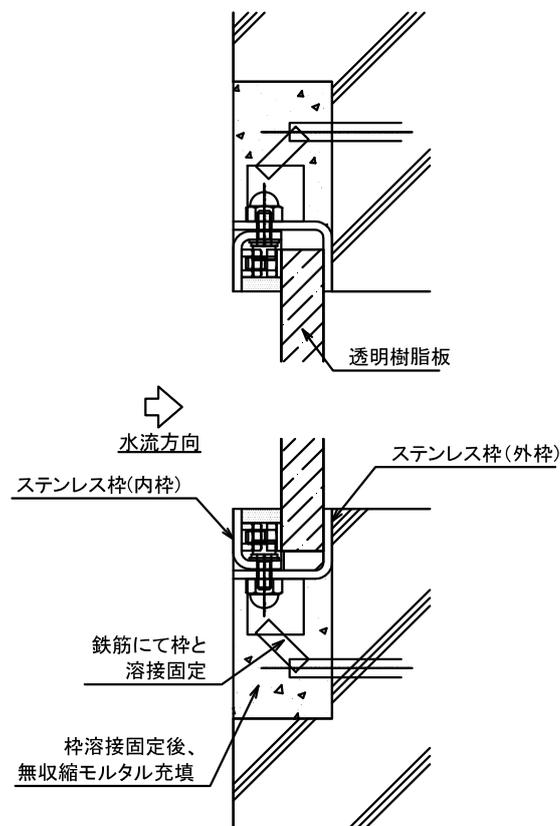


図-5.1.1 シーウォールの施工順序

ii) 従来(透明樹脂板直接はめ込み式)の場合

- ①ラフタークレーン等で本体を先施工された躯体箱抜き箇所へ搬入し、基準墨により芯出しを行う。
- ②躯体と透明樹脂板の間隙を無収縮モルタルにて固定する
- ③躯体と透明樹脂板の間隙にシリコンシーラントを施工する。

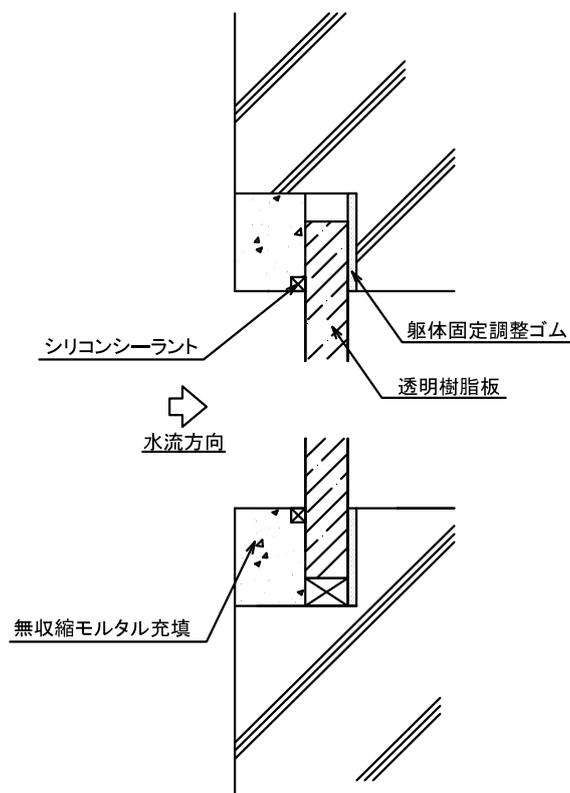


図-5.1.2 従来（透明樹脂板直接はめ込み方式）の施工順序

(2) 施工方法による人工数比較 (対象サイズ:W500×H1600×t20 の場合)

表-5.1.1 施工方法による人工数

項目	透明樹脂板直接はめ込み式 (1基当り) ※1	シーウォール(枠付き) (1基当り) ※2
透明樹脂板搬入工	0.2 人工	
モルタル工	0.2 人工	
シール工	0.3 人工	—
人工計	0.7 人工	0.4 人工
一日当りの施工可能基数 (3人作業時)	4.3 基	7.5 基

※1)施工実績と同サイズの実績がないため同じ作業工程に関しては同工数としシール工に関しては(財)建設物価調査会発行誌面のシーリング工事公表価格を参考とした。

人工計算は、シリコン目地 10×10(¥1,890/m)の周長 4.2m(=¥7,900)を1人工¥25,000として求めた。

※2)以下の実績値とした。

設置箇所:岩手県釜石市釜石港、発注者:岩手県沿岸広域振興局

施工時期:平成 26 年 5 月～

防潮堤高:H=6.10m、シーウォールサイズ:W500×H1600(有効開口)

【結果①】

枠付き構造(シーウォール)設置の場合と透明樹脂板直接はめ込みの場合で以下の結果が得られた。

「透明樹脂板直接はめ込み式の施工」は、アクリル板の温度伸縮を吸収する対策を施工現場で行わなければならない「透明樹脂板(枠付き)の施工」に比べ全工程で約2倍の人工数が必要となる。

【確認②：維持管理性】

(1) 透明樹脂板の取り外しフロー

〔標準作業人員：2名：施工場所において海側から〕

1. ステンレス枠内のゴムシールを外す。
2. 枠内バックアップ材を取り外す。
3. 特殊締付金具のロックナットを緩め、締付ボルトを緩める。
4. ステンレス外枠の接合ボルトを外す
5. ステンレス外枠を外す。
6. 透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し外す。
7. 透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し内枠へ取付ける。
8. ステンレス外枠を六角ボルトにて接合する。
9. 特殊締付金具の締付けボルトを所定のトルク(3N・m)で締付け、ロックナットにて固定する。
10. 枠内バックアップ材を取付ける。
11. ステンレス枠内のゴムシールをはめ込む。

(はめ込みにくい場合は中性洗剤を塗布してください)

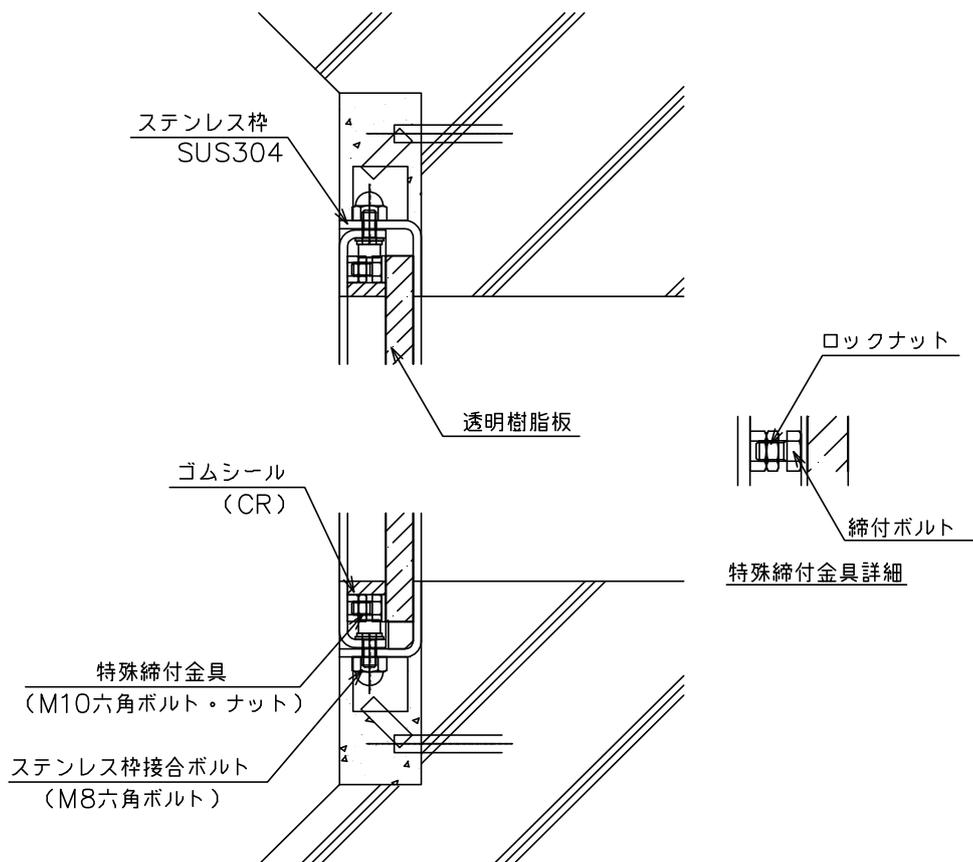


図-5.1.3 透明樹脂板の取り外し方法

(2) 製品を用いて実際に透明樹脂板を取り外した。

1. ステンレス枠内のゴムシールを外す



ゴムシールはマイナスドライバー等で
めくりあげる。



ゴムシールは四辺が連続した一体物。

2. 枠内バックアップ材の取り外し



特殊締付金具の部分からマイナスドライバー等
めくりあげる。

3. 特殊締付金具のロックナットを緩め、締付ボルトを緩める



特殊締付金具は必ず緩めて透明樹脂板の脱着
を行うこと。

※緩めずに外枠の着脱を行うと外枠の結合
外枠の接合ボルトに悪影響がある。



枠内四辺に複数箇所あり。

M10用(二面幅17mm)のスパナを
二本使用。

4.ステンレス外枠の接合ボルトを外す



枠内四辺に複数箇所あり。



M8用(二面幅13mm)ボックスレンチを使用。

5. ステンレス外枠、透明樹脂板を取り外す



※取り外し工程の、この作業以降は安全のため
バキューム吊り具にて透明樹脂板が倒れないよ
うに支えながら作業を行うこと。



外枠を取り外す。

6.透明樹脂板を取り外す。



バキューム吊り具などを使用し透明樹脂板を移動する。



取り外した透明樹脂板に取付ているフラットバーを取り外し、交換する透明樹脂板に張り替える。



取り外した透明樹脂板に取付ているセッティングブロック(ゴム)を取り外し、交換する透明樹脂板に張り替える。

7.透明樹脂板をバキューム吊り具を使用し内枠へ取付ける



新品の透明樹脂板を枠内へ据え付ける。

セッティングブロックが下部になるよう据え付ける。



ステンレス枠内で透明樹脂板左右のクリアランス
が均等になるように位置調整をする。



8.ステンレス外枠を六角ボルトにて接合する

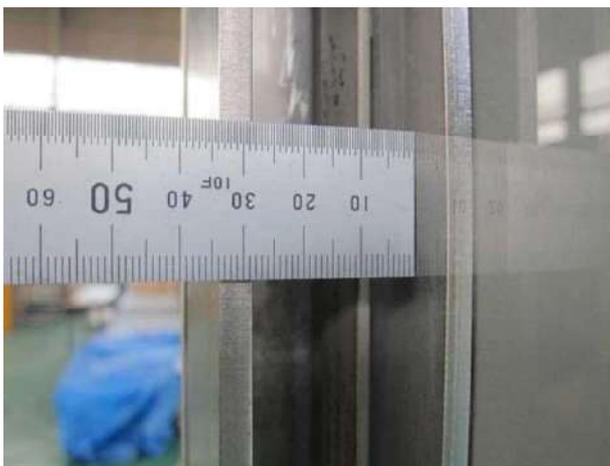


ステンレス外枠を枠内にはめ込む。



ステンレス外枠接合ボルトを仮止め

(外枠が動く状態)する。



透明樹脂板とステンレス外枠縁の寸法が

28mm～29mmであることを確認する。



ステンレス外枠接合ボルトをトルクレンチを
使用し締め付ける。

9. 特殊締付金具の締付けボルトを所定のトルク(3N・m)で締付け、ロックナットにて固定する。





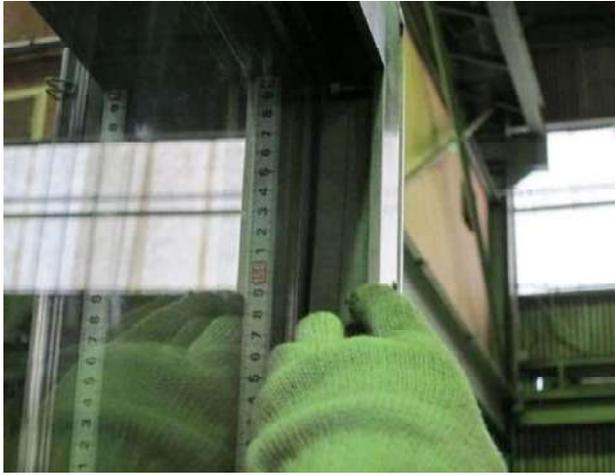
特殊締付金具をトルクレンチを使用し
所定のトルクで締め付ける。

※特殊締付金具の所定トルク

3N・m (30kgf・cm)

所定のトルクは解析実験に基づいた値です。

10. 枠内バックアップ材を取付ける



ステンレス枠内にバックアップ材をはめ込む。



11. ステンレス枠内のゴムシールをはめ込む。



ゴムシールは枠の四隅からはめ込む。



中性洗剤をゴムシールに塗布することで、
はめ込みが容易に行える。



完了。

【結果②】

- ・問題なく取り外しができることが確認できた。
- ・取り外しが可能であることから、ネジ・シール材・低摩擦テープの点検・交換を行うことができ、維持管理性が高いと判断できる。
- ・各部品を適切に維持管理した場合のシーウォールの耐用年数は50年とする。

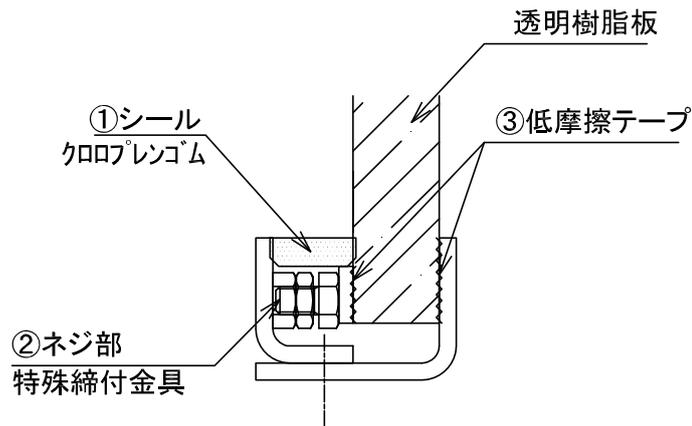


図-5.1.4 枠構造断面図

各部品の耐用年数及び点検期間一覧表

	①シール	②ネジ部	③低摩擦テープ
材質	クロロブレンゴム ※港湾の陸閘ゲートに使用されている水密ゴムと同様の材質	ステンレス	基材はガラス繊維 (PTFE含浸)
耐用年数	目安として一般的に 10～15年	目安として一般的に 20～30年	目安として一般的に 20～30年
点検時期	硬度計を用い定期的に点検を行う。測定値が80を超えた場合、シールを交換する。	目視・締付の点検をし、錆の発生があれば交換を行う。	目視の点検をし、ひび割れ、傷等があれば交換を行う。

表-5.1.2 主要部材点検表

5.2 開発目標 (2)

【目標内容】

防潮壁として高潮・津波に対して必要な水密性が確保される構造であること。

【確認方法】

水圧試験を行い、水密性を確認する。

【試験内容】

(1) 試験要領

- 1) 試験体及び水密蓋を試験装置架台に固定し水道水により水密蓋と試験体の間へ水を注入しエア抜きを行い満水にする。
- 2) 水密蓋の上段、中段、下段に取り付けられた圧力計で試験圧力を確認する。
- 3) 漏水量を経過時間で測定する。

(2) 試験スケジュール

1日目				2日目				
10:00	→	16:00	→	10:00	→	16:00	→	10:00
試験開始	(6H)	6時間後 漏水量測定	(18H)	24時間後 漏水量測定	(6H)	30時間後 漏水量測定	(18H)	48時間後 漏水量測定

表-5.2.1 試験スケジュール

(3) 試験圧力

水深6m、10m相当の各圧力

注) 漏水により圧力が低下しない様にバルブ開度及びレギュレータにて調整する

(4) 漏水量測定方法

漏水を採取しデジタルはかりで測定する

(5) 経過時間確認方法

電波時計にて確認する

(6) 試験日数

各試験圧力で2日間(48時間)、計4日間で試験を行う

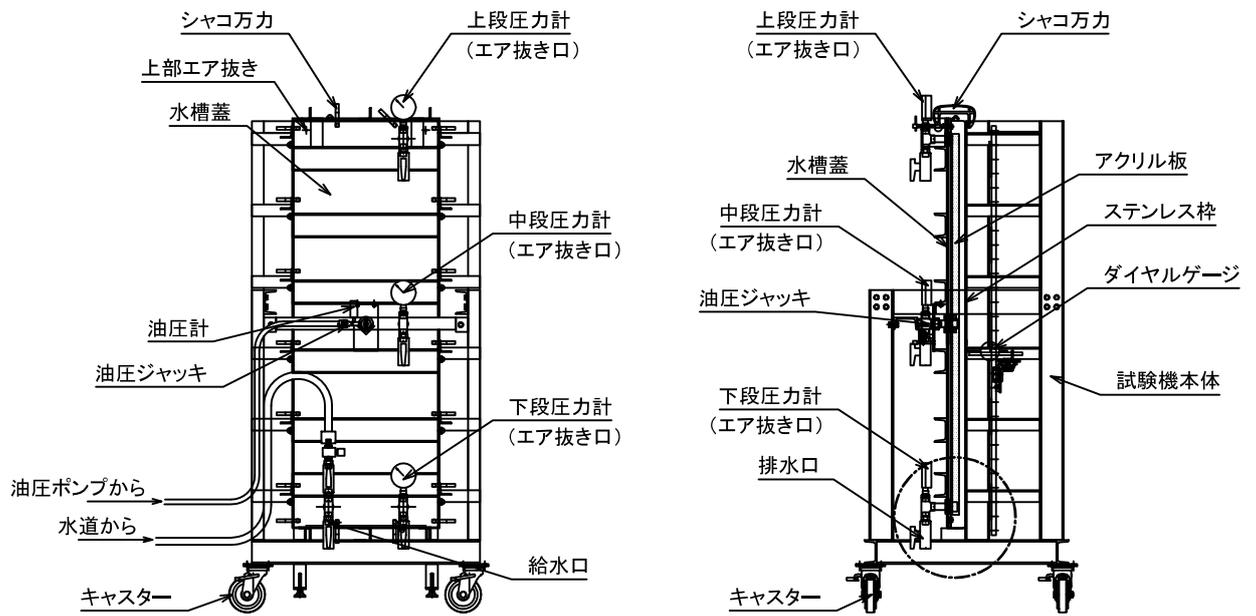


図-5.2.1 試験装置（正面図・断面図）

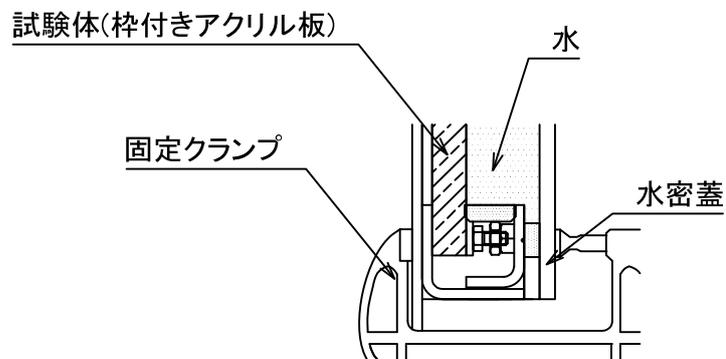


図-5.2.2 試験装置（枠部詳細図）

試験装置の概観写真



試験体 圧力計測



試験体 アクリル側



油圧ジャッキ
(衝突力を再現)



水用レギュレーター
(水量の制御)
水圧計
(水圧の測定)



ダイヤルゲージ
(アクリル変位量を計測)

(7) 試験モデル

シーウォール設置下端の水深を6m及び10mと想定した場合の試験を行う。
水道水の試験であるため、各水圧計の理論値は以下となる。

- 上段圧力計 $P=H1 \times q \times 1/1000$
- 中段圧力計 $P=(H1+0.8) \times q \times 1/1000$
- 下段圧力計 $P=H2 \times q \times 1/1000$

q: 海水比重10.1kN/m³相当

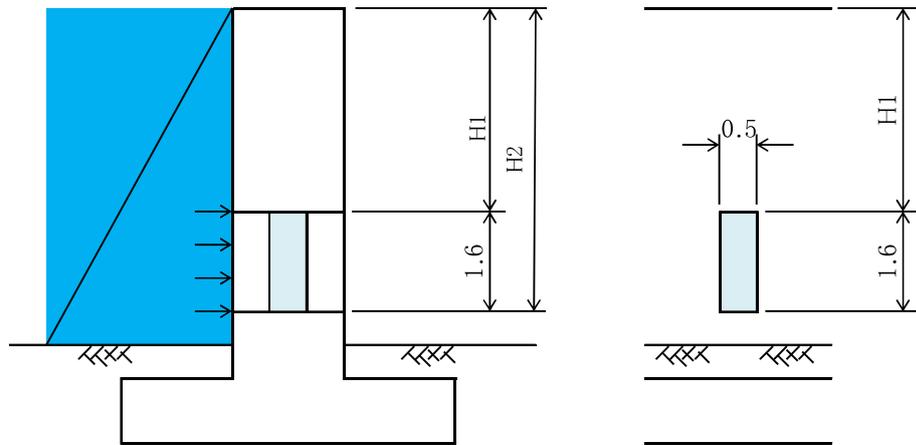


図-5.2.3 試験モデル(イメージ)

【試験結果】

試験日時：2015年3月2日～6日

場所：大日産業株式会社 甚目寺工場東工場内

試験水：水道水

(1)試験圧力 水深H2=6m・海水比重10.1kN/m³相当

- ・上段圧力計計測値 0.044 MPa
- ・中段圧力計計測値 0.053 MPa
- ・下段圧力計計測値 0.061 MPa

	3月2日		3月3日		3月4日
	10:00	16:00	10:00	16:00	10:00
	開始	6時間後	24時間後	30時間後	48時間後
漏水量(cc) 累積	-	0	0	0	0

表-5.2.2 漏水量(1)

(2)試験圧力 水深H2=10m・海水比重10.1kN/m³相当

- ・上段圧力計計測値 0.085 MPa
- ・中段圧力計計測値 0.093 MPa
- ・下段圧力計計測値 0.101 MPa

	3月4日		3月5日		3月6日
	10:30	16:30	10:30	16:30	10:30
	開始	6時間後	24時間後	30時間後	48時間後
漏水量(cc) 累積	-	530	2423	3146	5262

表-5.2.3 漏水量(2)

(3)経過時間による漏水量の変化グラフ

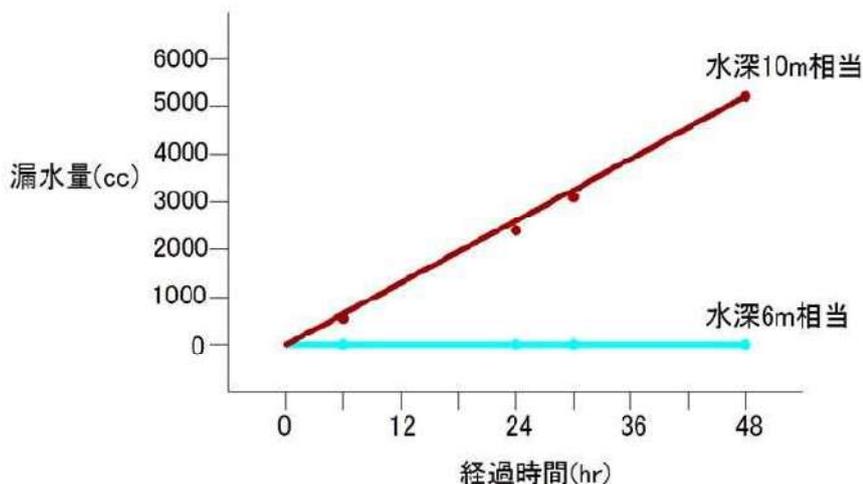


図-5.2.4 漏水量変化グラフ

(4)時間当たりの漏水量について

試験体の開口が0.5mで開口1mの時間当たりの漏水量は、

$$Q_{hr} = \frac{Q \Sigma \times 1}{hr \Sigma \times W} = \frac{5262 \times 1}{48 \times 3600 \times 0.5}$$

$$= 0.061 \text{ cc/m/s} \quad (6.100 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{m/s})$$

Qhr: 1秒間1mあたりの漏水量 (cc/m/s)
 QΣ: 経過時間後の漏水量の合計(cc)
 hrΣ: 経過時間(s)
 W: 窓開口(m)

参考基準値 (港湾の施設の技術上の基準・同解説より)

利用者	堤防からの距離	越波流量(m ³ /m/s)
歩行者	直背後(50%安全度)	2×10 ⁻⁴
	直背後(90%安全度)	3×10 ⁻⁵
自動車	直背後(50%安全度)	2×10 ⁻⁵
	直背後(90%安全度)	1×10 ⁻⁶
家屋	直背後(50%安全度)	7×10 ⁻⁵
	直背後(90%安全度)	1×10 ⁻⁶

表-5.2.4 背後地利用状況から見た許容越波流量

参考基準値 (漁港・漁場の施設の設計の手引きより)

利用方法	状態 (護岸のすぐ背後)	越波流量(m ³ /m/s)
歩行者	危険ない	2×10 ⁻⁴ (コップ1杯程度)
自動車	高速通行可能	2×10 ⁻⁵
	運転可能	2×10 ⁻⁴
家屋	大丈夫	7×10 ⁻⁵

表-5.2.5 背後地利用状況から見た許容越波流量

5.3 開発目標 (3)

【目標内容】

主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。

シーウォールの枠部分は下図のように、アクリル板とステンレス枠の接合部分は低摩擦テープを設置することでアクリル板の伸縮を吸収する構造となっています。

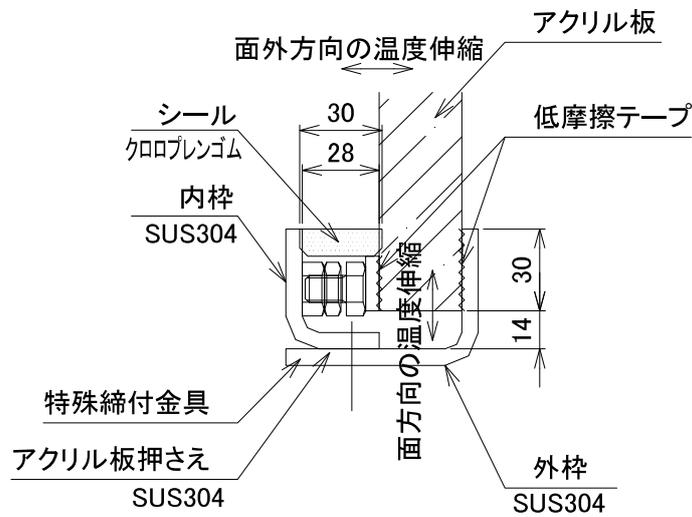


図-5.3.1 枠構造断面図

【確認方法】

加熱試験を行い、枠にて伸縮を吸収し、アクリル板にたわみが生じないことを確認する。

【試験内容】

(1) 試験要領

- ①試験は、ポリカーボネートより温度伸縮量の大きいアクリルにて行う。
- ②試験体を試験装置架台に固定し断熱材で囲い、測定基準線をマーキングし、ジェットヒーターで目標の表面温度まで加熱する。
- ③表面温度の目標は、本技術の適用範囲である上限の 50℃とした。
- ④アクリル板表面の温度を確認し測定基準線の測定で枠構造の温度伸縮吸収の判定を行う。

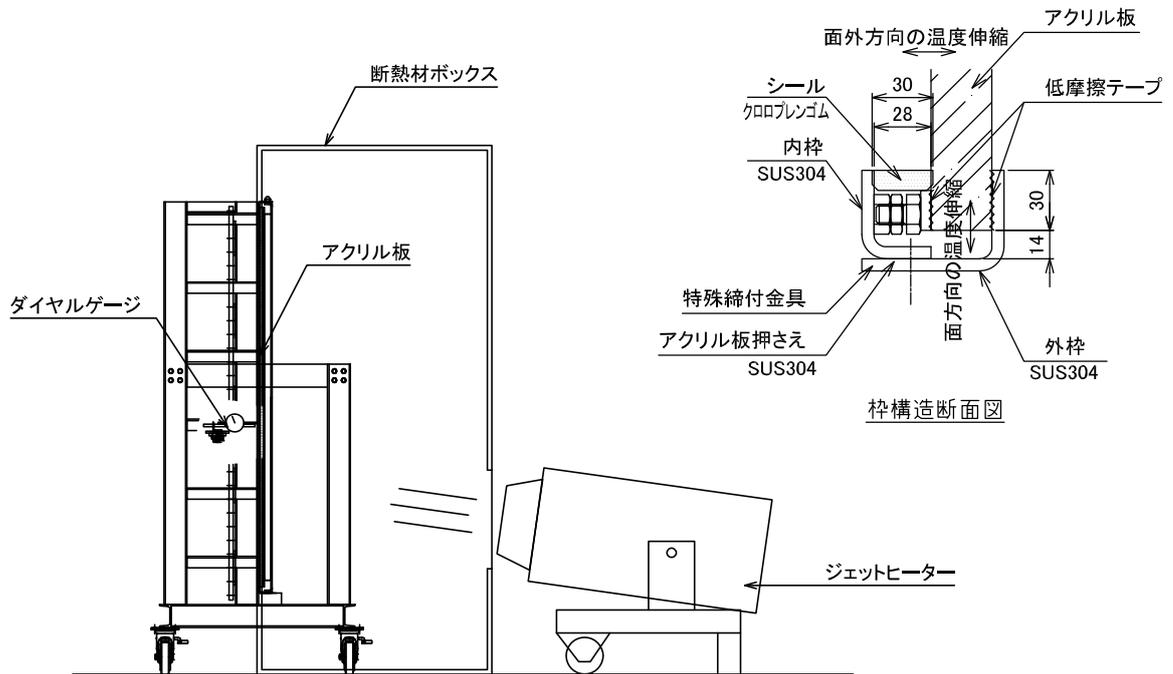


図-5.3.2 試験概要図

(3) 試験結果

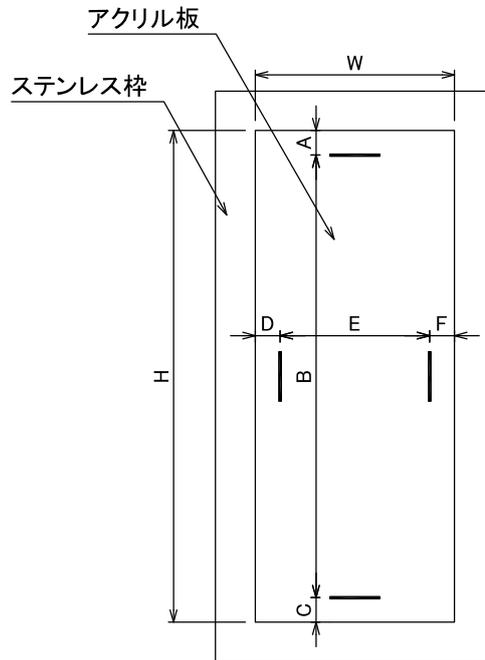


表-5.3.1 アクリル板面方向変位量測定値（メジャー測定値）

	温度°C	亚克力板 (mm)									
		(A)	(B)	(C)	変位量 測定値	理論値	(D)	(E)	(F)	変位量 測定値	理論値
加熱前	25	50.0	1500.0	50.0	-	-	50.0	400.0	50.0	-	-
加熱後	50	47.5	1502.5	50.0	2.5	2.6	50.0	400.5	49.5	0.5	0.7
	温度°C	ステンレス枠 (mm)									
		(W)	変位量 測定値	理論値	(H)	変位量 測定値	理論値				
加熱前	25	1600.0	-	-	500.0	-	-				
加熱後	50	1600.0	0.0	0.7	500.0	0.0	0.2				

上表の理論値は次式により算出された値とする

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot t$$

ΔL : 温度変化による伸縮量(mm)

L: 材料の長さ(mm)

α : 線膨張係数($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

亚克力: 7×10^{-5}

ステンレス鋼(SUS304): 1.73×10^{-5}

t: 温度変化量($^{\circ}\text{C}$) $\rightarrow 25^{\circ}\text{C}$

上記結果より、温度変化による亚克力板の変位に対して、ステンレス枠の変位量は 0mm である。以上のことから、表面温度が 50°C （加熱前の表面温度は 25°C のため、温度変化は 25°C ）による変位は枠部分において吸収されたことが確認された。

図-5.3.2 に、理論値によるアクリル辺長と温度伸縮量の関係を示す。温度変化 25℃における理論値と、本実験での実測値は、ほぼ一致している。よって、理論値から確認すると、アクリル及びポリカーボネートの標準サイズの最大（1000×2000）においても、温度変化 25℃（加熱前の表面温度が 25℃ならば 50℃までの変化）及び温度変化 50℃（加熱前の表面温度が 0℃ならば 50℃までの変化）が生じた場合のアクリル及びポリカーボネートの伸縮を十分許容できることが分かる。

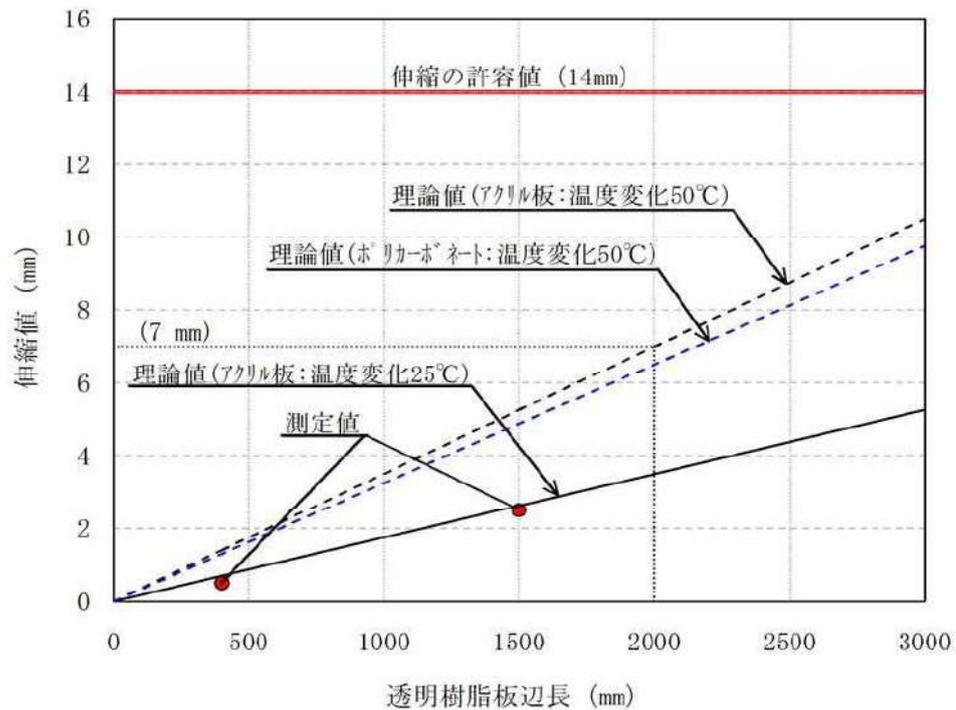


図-5.3.2 透明樹脂板辺長と温度伸縮量の関係

以上より、開発目標(3)について「主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること」を確認した。

6. 評価の結果

6.1 開発目標 (1)

評価項目	確認項目	確認方法	結果
開発目標 (1) 施工性を良くするための枠付き構造であり、維持管理性を高めるため透明樹脂板が取り外し可能であること。	透明樹脂板の取り外し状況。	製品を用いて実際に試す。	枠無し構造と比較して施工性は良く、枠から透明樹脂板を取り外しができることが確認でき、取り外しが可能であること維持管理性が高いことが確認された。

6.2 開発目標 (2)

評価項目	確認項目	確認方法	結果
開発目標 (2) 防潮壁用として高潮・津波に対して、越波流量基準に対する水密性が確保されること。	水圧作用時の水密性。	水圧試験を行い、水密性を確認する。	水深 10m に相当する静水圧を作用させた実験においても、漏水量は 6.10×10^{-8} (m ³ /m/s) であることが確認された。

6.3 開発目標 (3)

評価項目	確認項目	確認方法	結果
開発目標 (3) 主な透明樹脂板であるアクリル又はポリカーボネートの温度変化による伸縮に対して、部材に孔を空けることなく枠部分にて吸収できる構造であること。	温度変化試験	加熱試験を行い、伸縮の吸収を確認する。	温度変化 25℃ (加熱前の表面温度が 25℃ ならば 50℃ までの変化) 及び温度変化 50℃ (加熱前の表面温度が 0℃ ならば 50℃ までの変化) が生じた場合のアクリル及びポリカーボネートの伸縮を十分許容できることが確認された。

D. 參考資料

1. 透過部材の選定

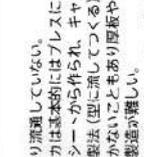
透明度が高い材質であることを前提に、以下の三種類にて比較を行い総合的判断した。

- ・ ガラス
- ・ ポリカーボネート
- ・ アクリル

三種類の内、強度、対候性に優れるアクリル及びポリカーボネートがシーウォールの用途に適していると判断した。(次頁参照)

- ※1 ガラスは防潮壁に使用する材質としては不適合と判断できる。
- ※2 ポリカーボネートはアクリルと類似した性質であり用途に適していると判断できる。
- ※3 シーウォールに用いられるアクリル板は、屋外での長期設置に対して透明度等をより保つため、アクリル板表面に特殊加工を施したものを使用しております。

シーウォールの窓部分のための素材検討（透明素材の材料特性比較）

材質	ガラス	ポリカーボネート	アクリル
	<p>薄板</p>  <p>板状のガラス 溶融金属の上に浮かべることで均質平面な板を製造する</p> <p>厚板 や塊</p>  <p>ガラスの塊 製法上、厚板や塊も作りやすい 塊でも透明度が高い。</p>	<p>薄板</p>  <p>ポリカーボネートプレートのままシートをくり、重ねてプレス成形することで製造する</p> <p>厚板 や塊</p>  <p>あまり流通していない。ポリカーボネートにはプレスによるシートから作られ、キャスト製法（型に流して固める）に向かないこともあり厚板や塊の製造が難しい。</p>	<p>薄板</p>  <p>アクリルプレート キャスト製法に向いており必要な厚みの型に流して製造できる</p> <p>厚板 や塊</p>  <p>アクリルの塊 キャスト製法でも作りやすく流通している。ガラス以上の透明度がある。</p>
01 透明度	紫外線を主成分とする非晶質固体。現在流通しているフロートガラスの大半はソーダ石灰ガラスと呼ばれるものである。透明性が高く、熱に強く、硬くて美品にも使われる。しかし、表面が滑らかで汚れを落とすしやすいため、表面が曇らなかつたまま使用できる。透明率は約92%。非常に高い。割れやすい。	カーボネート基で構成される透明性の高い熱可塑性の合成樹脂。PCと表記される。特に耐衝撃性に優れ、耐熱性・難燃性などが高い。引っ張り強度が強く、紫外線による劣化や変色などが少ない。表面に細かい傷はつきやすい。火災が想定される場所や屋内内装の薄板等では優位性が際立つ。高い 透明度約 89% (85%~90%)	正式には透明性の高い非晶質の合成樹脂。PMMAと表記される。非常に透明性が高い。耐衝撃性に優れ、屋外用用途にも広く使われている。引っ張り強度は約100°C以上で変形する。ポリカーボネートより硬いがガラスに比べると割れやすい。最も高い 透明度約 93%
02 耐衝撃性	強い、割れやすい。	非常に強い（3mm程度の板では圧碎的）	強い、加工しやすく厚板で耐衝撃性を強化しやすい。
03 可燃性	不燃	難燃性	可燃性（400°C以上で可燃） 火災想定場所では不可
04 耐熱性・耐熱温度	強い。700°C程度	高温に弱い（アクリルより優位。120~130°C程度）	高温に強い。70~90°C程度。
05 耐摩耗性	強い。硬質はポリカーボネートの10倍以上	弱。	強いがポリカーボネートの2~3倍。
06 耐候性	強い。ほとんど劣化しない。建築材料として実績豊富。	外部使用では徐々に劣化（黄変、劣化（脆化）する。	強い。ほとんど劣化しない。高速道路や水族館などでの実績あり。
07 耐薬品性	強い。	有機溶剤やアルコールには弱い。	有機溶剤には強い。
08 加工性	困難。特に強化ガラスでは不可。	切断や溶着はむずかしい	容易。切断や溶着、現場溶着も可能
09 環境性	リサイクル可能	リサイクル可能 BPA（双酚A）の溶出が確認されるが微量で問題はない	リサイクル可能
10 密度	2.4~2.6g/cm ³ 程度	1.2g/cm ³ 程度	1.19g/cm ³ 程度
11 弾性・靱性・塑性	乏しい	優れている。熱可塑性がある。	優れている。熱可塑性がある。
12 熱膨張	コンクリートなどと同程度。あまり膨張しない。	樹脂は熱により膨張するので設計上注意が必要。 熱膨張係数 約 09 (10 ⁻⁶ /°C)	樹脂は熱により膨張するので設計上注意が必要。 熱膨張係数 約 70 (10 ⁻⁶ /°C)
13 一般的な用途	建物の窓、レンズ、鏡、ディスプレイ、蛍光灯など	CJ、DVD、携帯のケース、車のヘッドランプ、屋根材など	照明カバー、導光板、食器、コンタクトレンズ、水筒など
14 経済性	経済的。10（ガラスを10とする。）	高い。2.3程度。厚板になるとさらに高くなる傾向。	ポリカーボネートは経済的。ガラスよりは高い。1.8程度
15 シーウォールに対する総合評価	衝撃に強いことが大きな問題。薄い素材を使用しても風圧への衝撃によって割れ、クラックが進行するため、防曇層には不向き。	難燃性による優位性はあるが、素材は製造が難しいこと、透明度の低さが確認されてしまうこと、建築材料としては柔らかいこと、耐候性が低くないことなどが、防曇層という観点で言えば、適していると言えない。紫外線による劣化や黄変は、各社ことごとく耐候グレードを出して改善しているが、それでも劣化は少しずつ進行していくため、仮自体の劣化の速さを重要な判断材料とするシーウォールとしては、現時点では検討しづらい。（実際に大判厚板ではアクリルの実績が圧倒的。）	耐衝撃性の強さ、透明度と加工性の優位性は外部使用の大判厚板に適している。特に屋外でもほとんど強度劣化しない耐衝撃性は防曇層では大ききポイントであり、素材適性としては長所を兼ね備えていると考えられる。透明素材の中では現時点で最も適していると考えられる。高速道路や水族館の屋内・屋外水筒などで長期採用されていることもそれを裏付ける。耐熱性は耐熱温度が高いことであるが、火災が想定されない場所での使用で好まれる。問題はないと考えられる。設計条件によって自由に厚みを調整できることも強み。
備考（弱点の克服など）	強化ガラスは製造時の最終工程で表面を研磨して破損に耐える強化性を向上させたもの。通常の3~5倍の強度をもつ。しかし仕上がりを超えて割れが進行すると、内部には逆に引っ張り力が存在しているため、ガラス全体が瞬間的に破砕してしまう。	耐候性向上のため、各社で耐候グレードという商品をもつ。たまたま、製法やスベックはまちまち。耐候グレードの製造は大きく2種類。UV吸収剤を混入する方法と表面をコーティングする方法がある。後者はコーティング材の耐用年数による。いずれにしても数十年の使用には不向き。	美ら海水族館の大型水槽での採用例。水圧だけでなく、ジンベイメの衝突なども考慮されている。巨大アクリルパネルは、高さ8.2m、幅22.5m、厚さ60cmにもなるが手が震えを感じさせない。透明度を高める。

2. シーウォール枠の支承条件設定

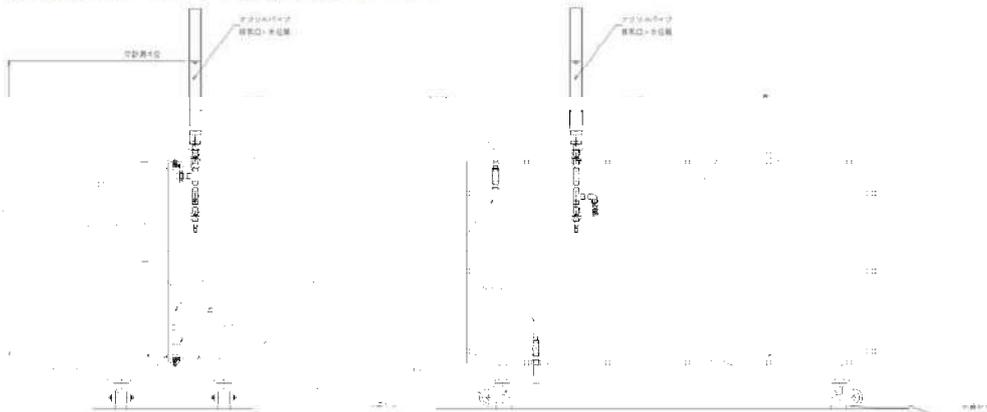
(1) 試験目的

枠の固定条件における回転バネ値を FEM 解析と試験結果より想定する。

(2) テスト装置の概要

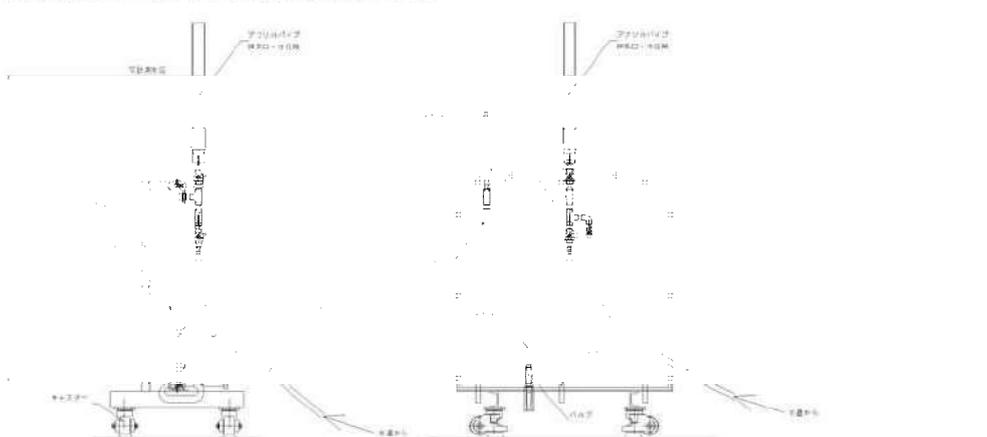
・テスト装置1

枠内寸法: 942 × 1942 アクリル板寸法: 1000 × 2000



・テスト装置2

枠内寸法: 942 × 942 アクリル板寸法: 1000 × 1000



・アクリル板変位量の測定方法



テスト装置断面詳細図



所定の位置でアクリル板の変位量を測定する。

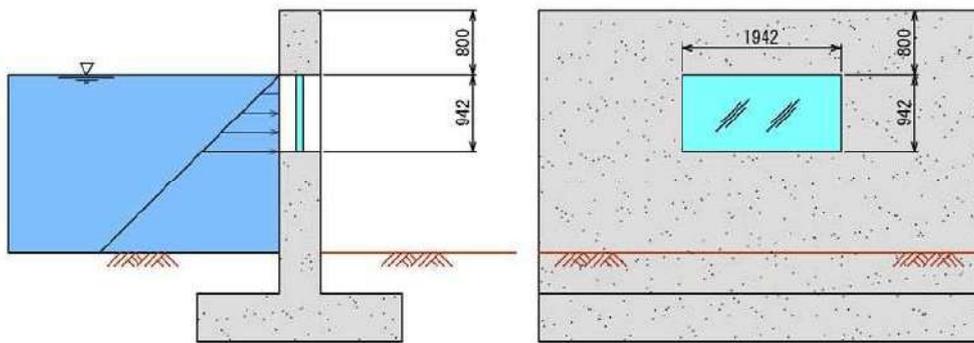
・水圧負荷方法

アクリルパイプの設定水位まで水道水を注入し水頭圧にてアクリルの変位量を測定する。

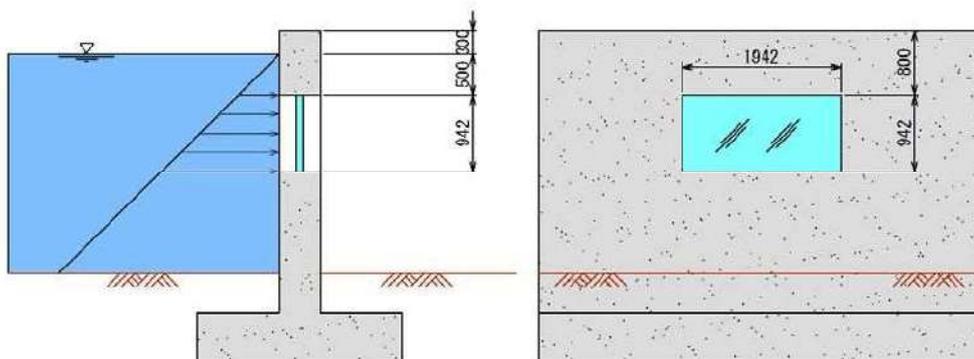
(3) 水圧イメージ図

i) テスト装置 1

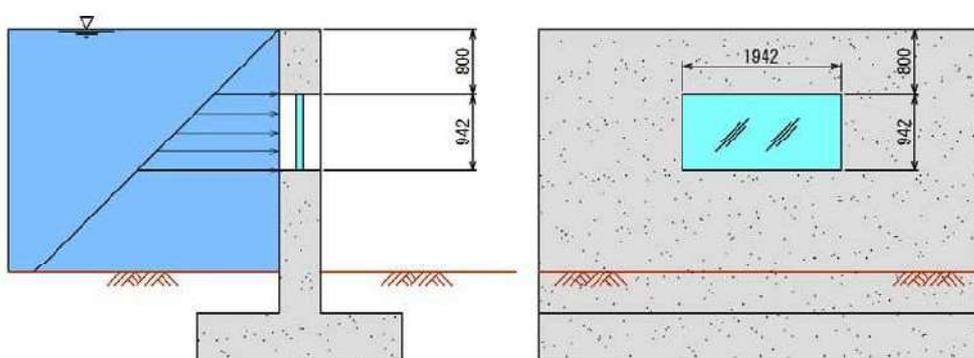
ケース.1



ケース.2

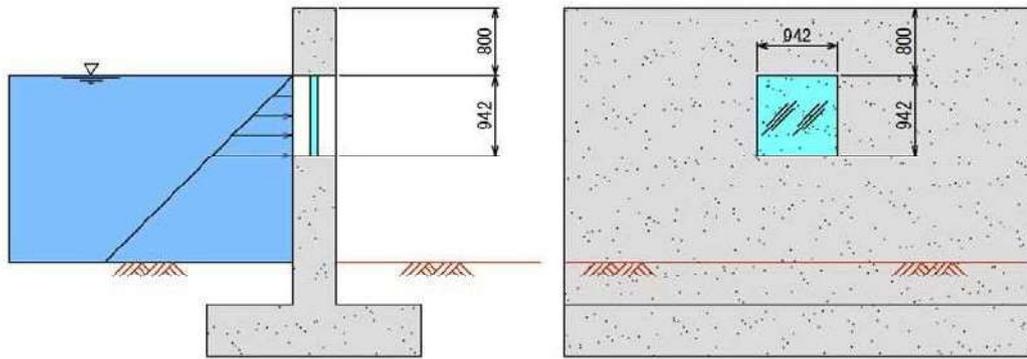


ケース.3

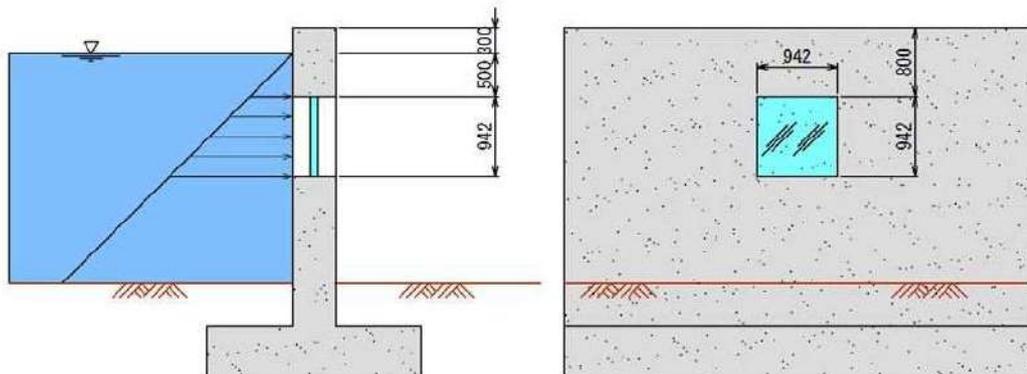


ii) テスト装置 2

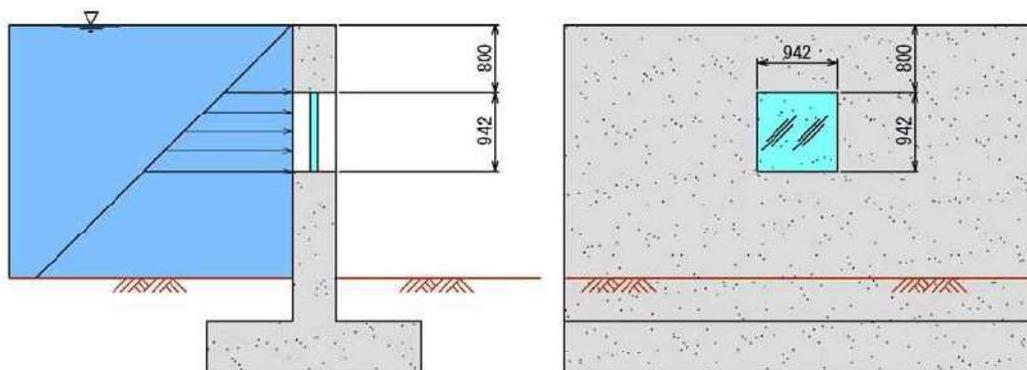
ケース.1



ケース.2

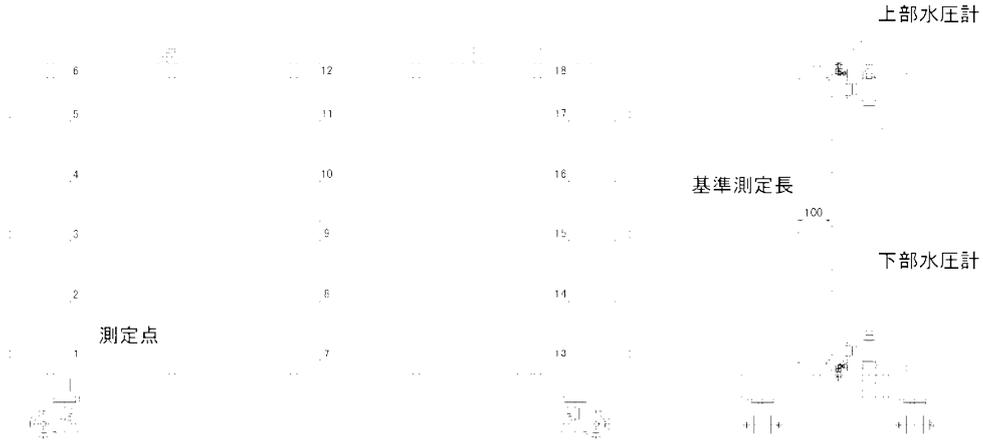


ケース.3



(4) 試験結果

(テスト装置1 変位置測定表)
 枠内寸法: 942×1942



基準測定長: 100
 高さ方向測定ピッチ: 200

上部水圧計測値: 0kpa = 0kN/m²
 下部水圧計測値: 10kpa = 10kN/m²

測定日: 2013/4/18

測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置
6	100	100	0	12	100	100	0	18	100	100	0
5	100	99	1	11	100	95	5	17	100	97	3
4	100	96	4	10	100	90	10	16	100	96	4
3	100	96	4	9	99	88	11	15	99	95	4
2	100	97	3	8	98	92	6	14	99	96	3
1	100	100	0	7	100	100	0	13	100	100	0

上部水圧計測値: 5kpa = 5kN/m²
 下部水圧計測値: 15kpa = 15kN/m²

測定日: 2013/4/16

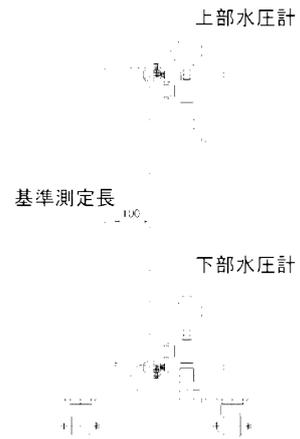
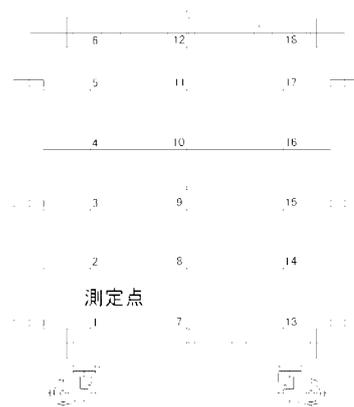
測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置
6	100	100	0	12	100	100	0	18	100	100	0
5	100	99	1	11	100	94	6	17	100	97	3
4	100	93	7	10	100	84	16	16	100	93	7
3	100	92	8	9	99	82	17	15	99	92	7
2	100	95	5	8	98	89	9	14	99	94	5
1	100	100	0	7	100	100	0	13	100	100	0

上部水圧計測値: 8kpa = 8kN/m²
 下部水圧計測値: 17.5kpa = 17.5kN/m²

測定日: 2013/4/18

測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位置
6	100	100	0	12	100	100	0	18	100	100	0
5	100	97	3	11	100	90	10	17	100	96	4
4	100	93	7	10	100	81	19	16	100	92	8
3	100	93	7	9	99	79	20	15	99	91	8
2	100	95	5	8	98	87	11	14	99	94	5
1	100	100	0	7	100	100	0	13	100	100	0

(テスト装置2 変位量測定表)
 枠内寸法: 942×942



基準測定長: 100
 高さ方向測定ピッチ: 200

越流0.5m相当の水圧を負荷させたアクリル板変位量の測定

理論近似計算(両端固定)最大変位量: 6mm
 (「アクリル板を用いた設計の手引き」計算式にて算出)

上部水圧計測値: 0kpa = 0kN/m²
 下部水圧計測値: 10kpa = 10kN/m²

測定日: 2013/4/18

測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量
6	101	101	0	12	101	101	0	18	100	100	0
5	101	99	2	11	101	98	3	17	99	97	2
4	101	98	3	10	100	95	5	16	99	96	3
3	101	97	4	9	99	94	5	15	98	95	3
2	101	99	2	8	100	96	4	14	99	96	3
1	101	101	0	7	100	100	0	13	100	100	0

上部水圧計測値: 5kpa = 5kN/m²
 下部水圧計測値: 15kpa = 15kN/m²

測定日: 2013/4/16

測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量
6	101	101	0	12	101	101	0	18	100	100	0
5	101	99	2	11	101	96	5	17	99	97	2
4	101	95	6	10	100	92	8	16	99	96	3
3	101	95	6	9	99	89	10	15	98	94	4
2	101	97	4	8	100	93	7	14	99	96	3
1	101	101	0	7	100	100	0	13	100	100	0

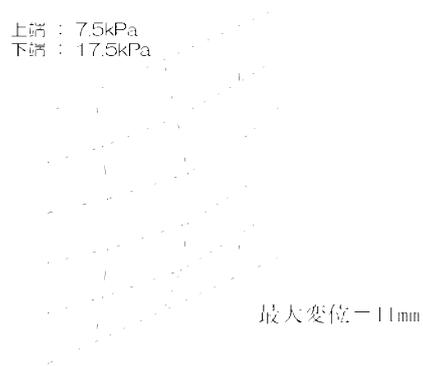
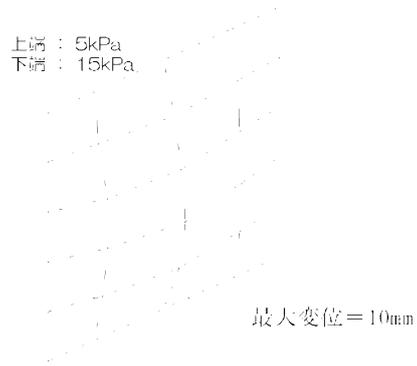
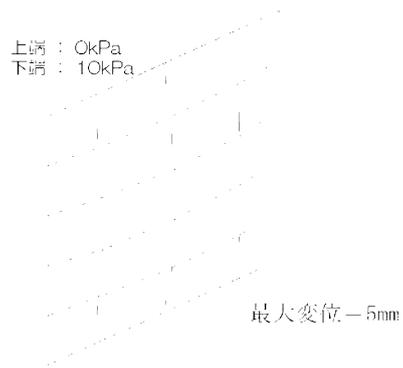
上部水圧計測値: 8kpa = 8kN/m²
 下部水圧計測値: 17.5kpa = 17.5kN/m²

測定日: 2013/4/18

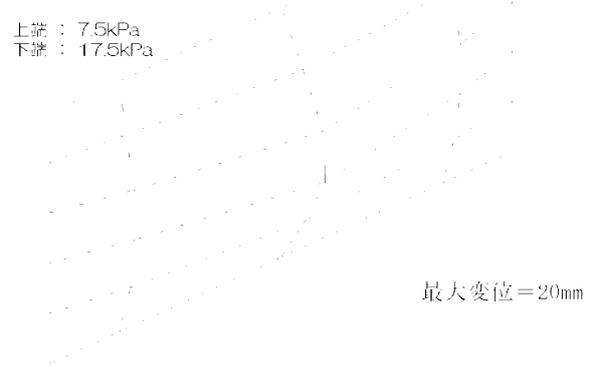
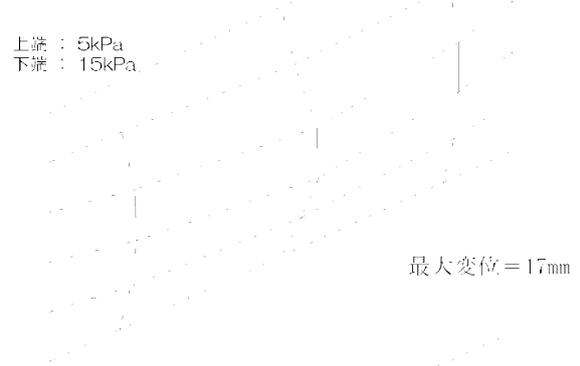
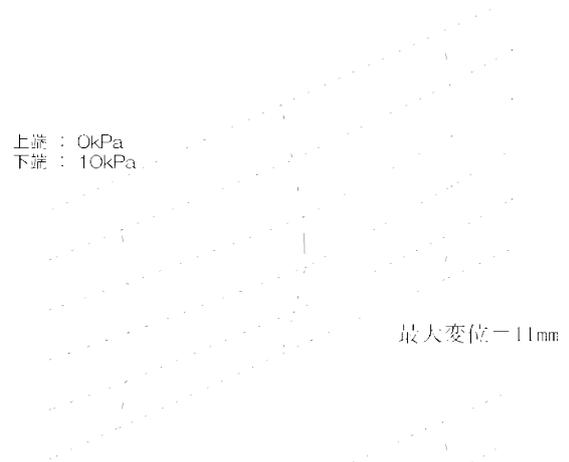
測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量	測定点	無負荷測定長	負荷測定長	変位量
6	101	101	0	12	101	101	0	18	100	100	0
5	101	97	4	11	101	95	6	17	99	96	3
4	101	95	6	10	100	89	11	16	99	93	6
3	101	95	6	9	99	88	11	15	98	92	6
2	101	97	4	8	100	92	8	14	99	95	4
1	101	101	0	7	100	100	0	13	100	100	0

(5) 変位図

テスト装置 2 (1000×1000)



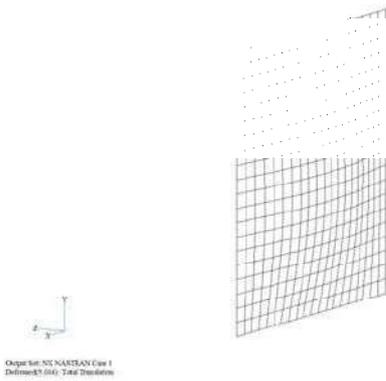
テスト装置 1 (1000×2000)



(6) FEM解析結果

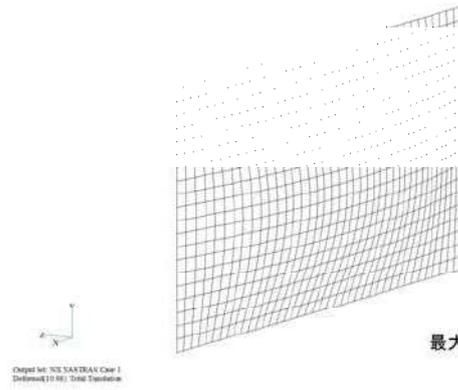
前述したそれぞれのケースにおいて、試験結果と等しい変位量になる回転バネ値を求めた。

上端 : 0.0kN/m² 下端 : 10.0kN/m²
 回転バネ 1mあたり 7.6E6 Nmm/rad



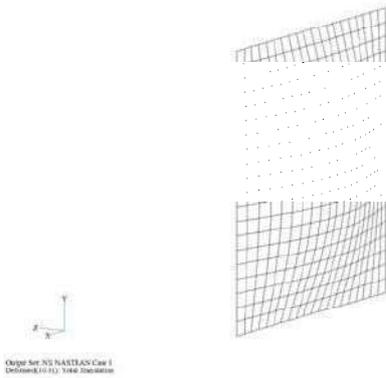
最大変位 5mm

上端 : 0.0kN/m² 下端 : 10.0kN/m²
 回転バネ 1mあたり 7.1E6 Nmm/rad



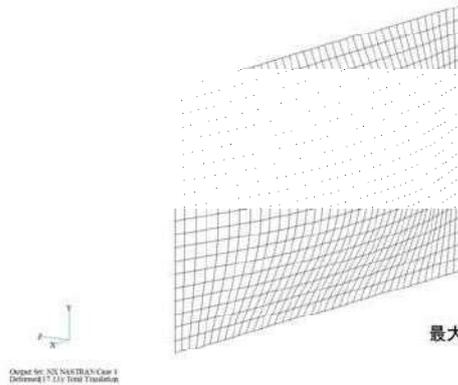
最大変位 11mm

上端 : 5.0kN/m² 下端 : 15.0kN/m²
 回転バネ 1mあたり 7.2E6 Nmm/rad



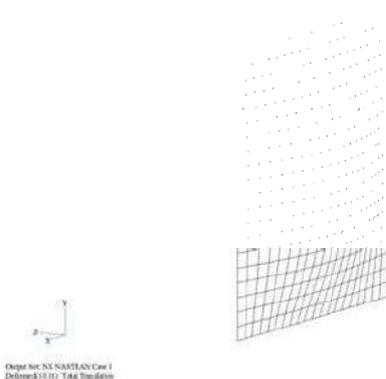
最大変位 10mm

上端 : 5.0kN/m² 下端 : 15.0kN/m²
 回転バネ 1mあたり 1.5E7 Nmm/rad



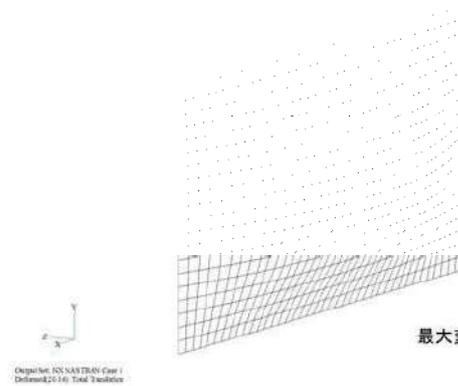
最大変位 17mm

上端 : 7.5kN/m² 下端 : 17.5kN/m²
 回転バネ 1mあたり 1.2E7 Nmm/rad



最大変位 11mm

上端 : 7.5kN/m² 下端 : 17.5kN/m²
 回転バネ 1mあたり 1.8E7 Nmm/rad



最大変位 20mm

(7) 考察

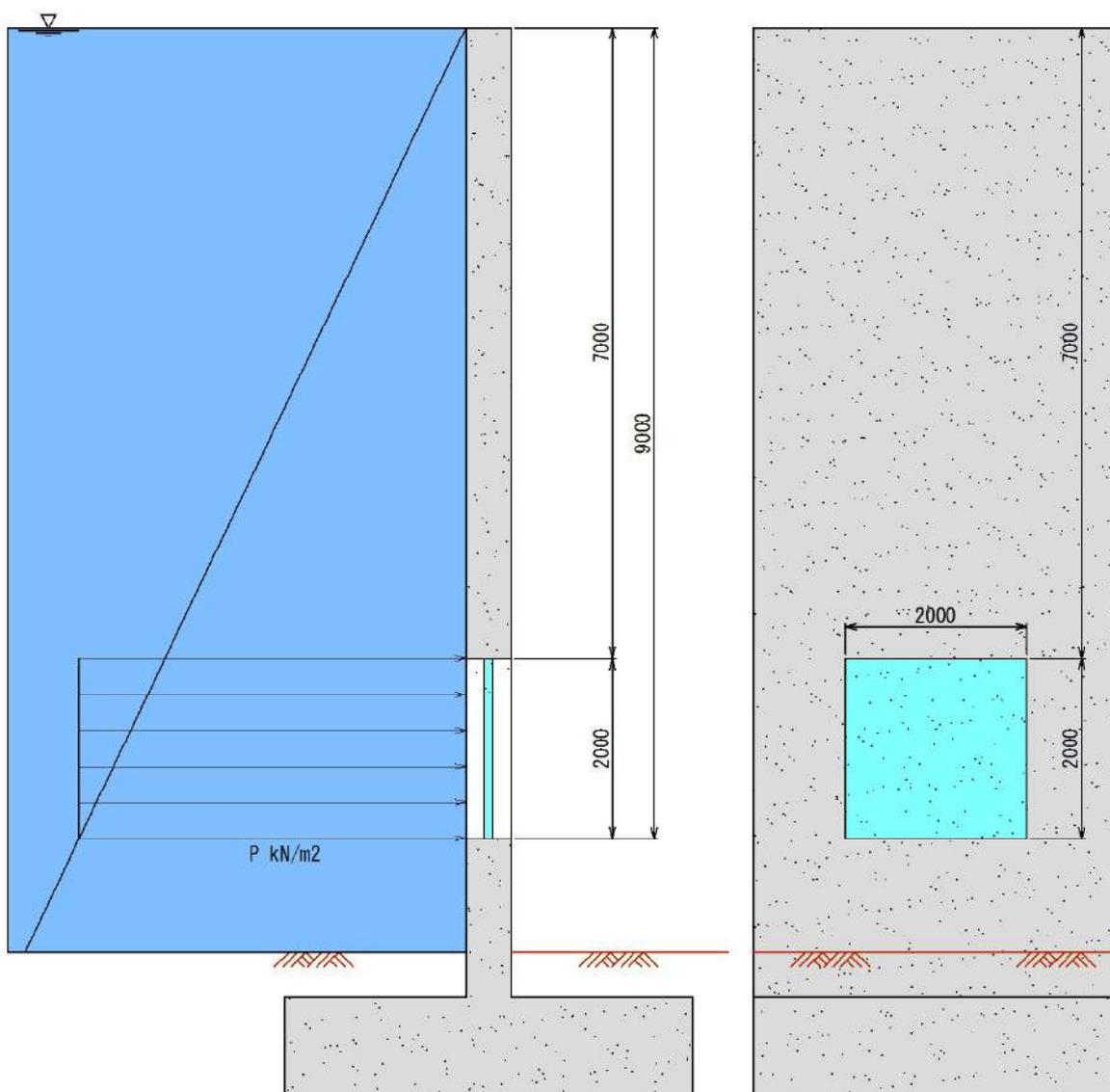
前頁までの検討結果、シーウォールの枠とアクリル板との固定条件は以下とした。

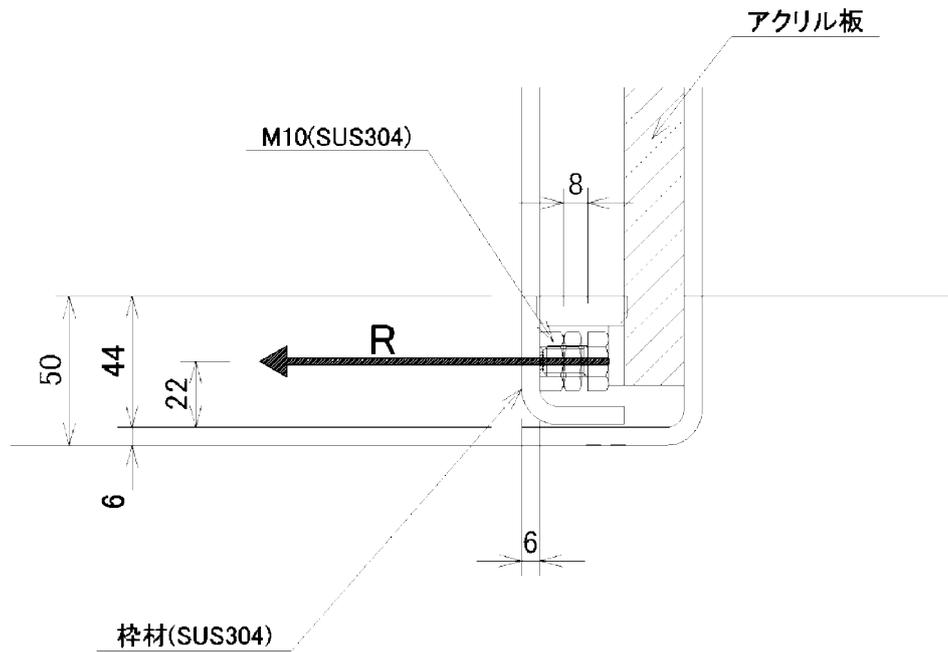
回転バネ値 (1.0m当り) 1.0×10^7 Nmm/rad

3. 枠部分の強度計算例

以下のような荷重状態を想定し、ネジ・枠本体の照査を行う。

- ※1 荷重条件により、ネジのピッチが決まります。
- ※2 シーウォールとしての最大級の寸法（2.0m×2.0m）で計算する。
- ※3 静水圧は安全側に最大値が等分布に作用するものとする。





① 棒部反力の算出

i) シーウォール下面静水圧強度

$$P = 10.1 \times 9.00 = 90.90 \text{ kN/m}^2$$

ii) 全水平荷重

$$\Sigma P = 90.90 \times 2.00 \times 2.00 = 363.60 \text{ kN/枚}$$

iii) 棒部反力

$$R = 363.60 / (4 \times 2.00) = 45.45 \text{ kN/m}$$

②ネジの照査

<使用ボルト : M10(SUS304) : 谷径 = 8.376mm : ナット高 = 8.4mm>

i) ネジに作用する圧縮力に対して

ネジは 15 c m ピッチとして、ネジ 1 本当りの圧縮力は

$$N = R \cdot L = 45.45 \times 0.15 = 6.82 \text{ kN/本}$$

$$\sigma = N/A_s = 6.82 \times 1000 / (1/4 \times \pi \times 8.376^2) = 124 \text{ N/mm}^2 < \sigma a' = 154 \text{ N/mm}^2$$

OK! (日本建築学会)

ii) ネジ山のせん断に対して

$$\tau = N / (\pi \cdot D \cdot h) = 6.82 \times 1000 / (\pi \times 8.376 \times 8.4) = 31 \text{ N/mm}^2 < \tau a' = 117 \text{ N/mm}^2$$

OK! (日本建築学会)

③枠本体の照査

<使用鋼材 : t = 6mm (SUS304)>

i) 枠に作用する曲げに対して

$$M = 45.45 \times 1000 \times 22 = 999,900 \text{ N}\cdot\text{mm/m}$$

$$\sigma = M/z = 999,900 / (1/6 \times 1000 \times 6.0^2) = 166.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma a' = 206 \text{ N/mm}^2$$

OK! (日本建築学会)

ii) 枠に作用するせん断力に対して

$$S = 45,450 \text{ N/m}$$

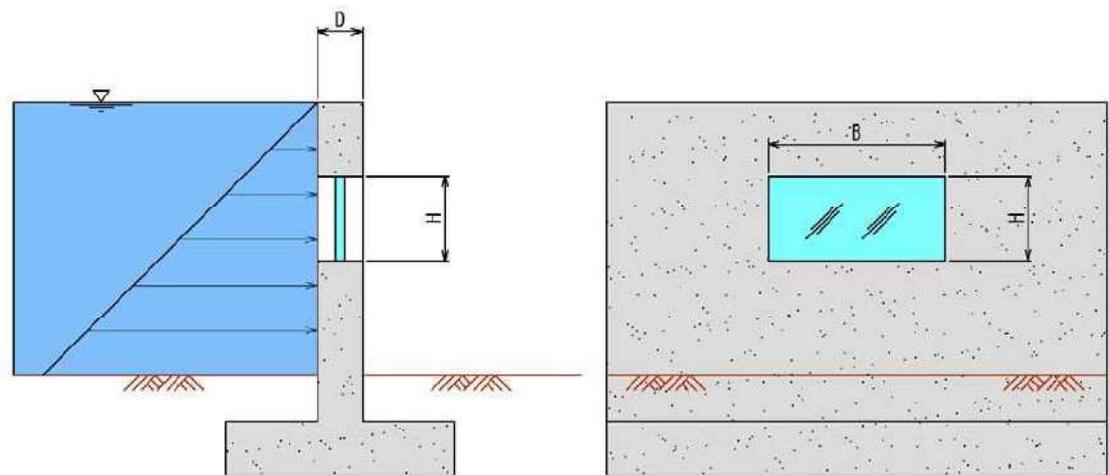
$$\tau = S/A = 45,450 / (1000 \times 6.0) = 7.6 \text{ N/mm}^2 < \tau a' = 119 \text{ N/mm}^2$$

OK! (日本建築学会)

4. 防潮壁設計時の注意事項

(1) 堤体全体の安定照査

防潮壁（重力式堤体）にシーウォールを設置した場合は以下の手順で安定照査を行うことを提案致します。



①壁体重量およびモーメントより、シーウォールによる控除分($B \cdot H \cdot \gamma_c$)を差し引く。

②壁体重量およびモーメントに、シーウォール自体の重量およびモーメントを加える※。

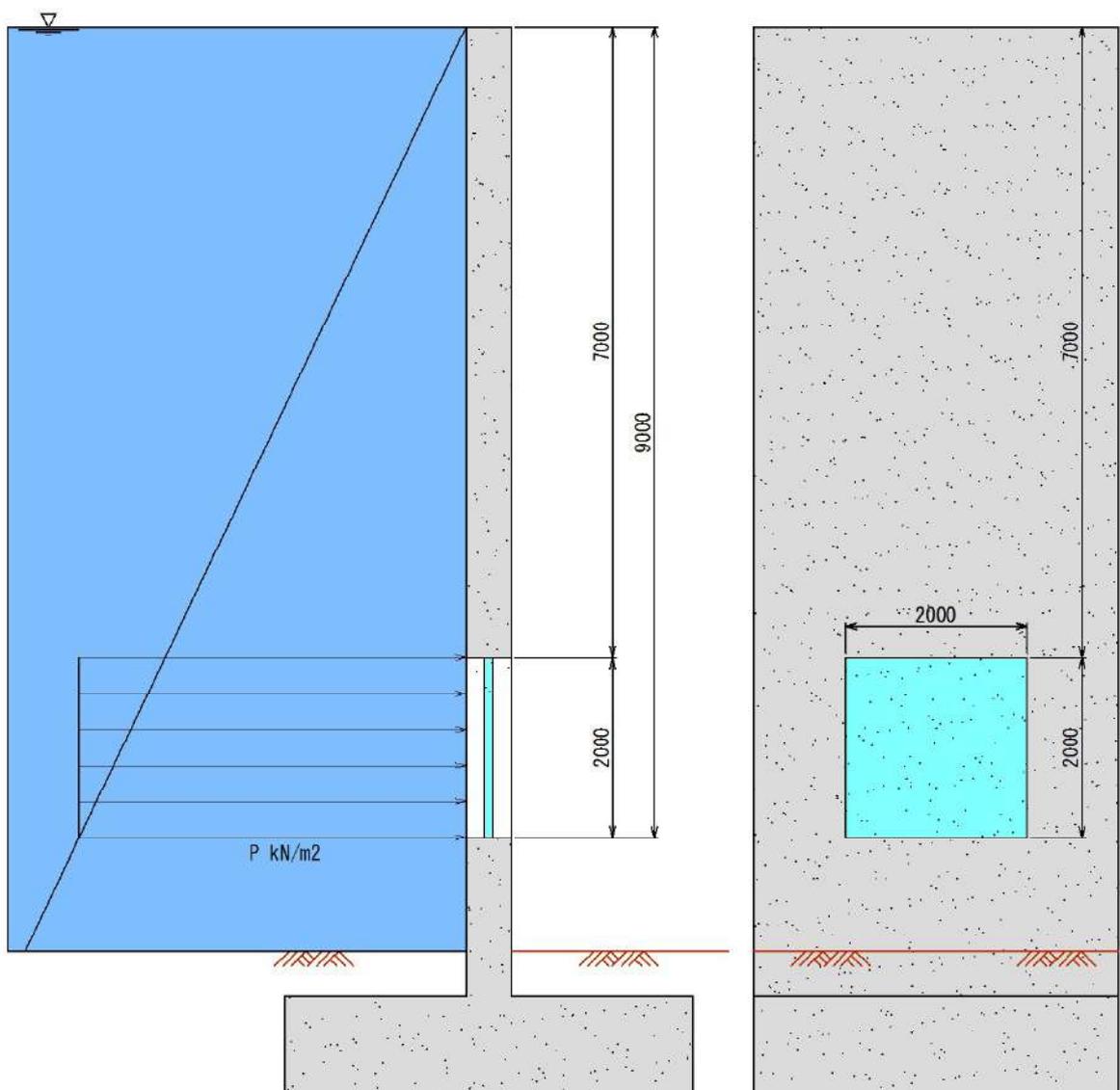
※シーウォールの重量は壁体重量と比べ微小であるため、状況により、安全側に無視することをお勧めします。

(2) シーウォール取付部分のせん断照査

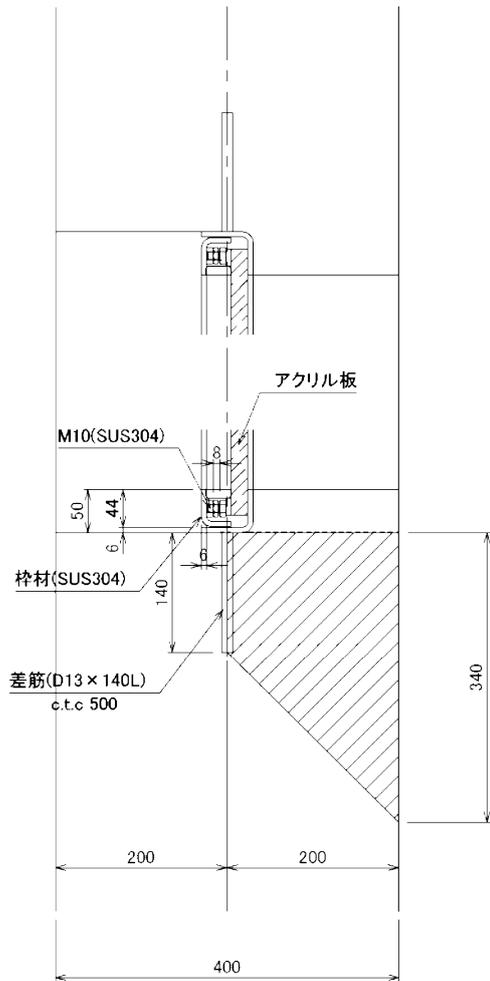
以下のような荷重状態を想定し、取付部分のせん断照査を行う。

※1 シーウォールとしての最大級の寸法 (2.0m×2.0m) で計算する。

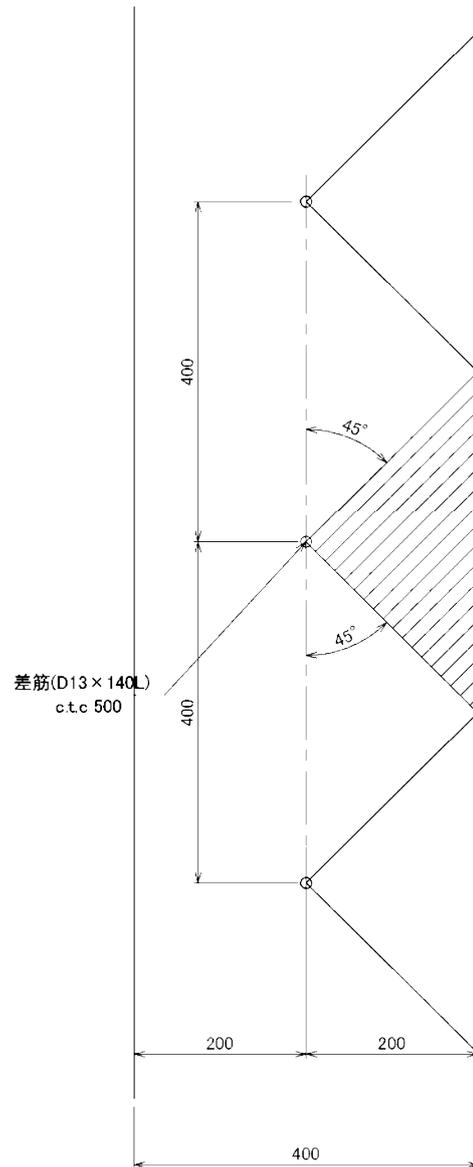
※2 水圧は安全側に最大値が等分布に作用するものとする。



断面図



平面図



- ※1 一般的な防潮壁の最小幅（40 c m）とする。
- ※2 シーウォールの配置は部材センターと想定する。

① 枠部反力の算出

i) シーウォール下面水圧強度

$$P = 10.1 \times 9.00 = 90.90 \text{ kN/m}^2$$

ii) 全水平荷重

$$\Sigma P = 90.90 \times 2.00 \times 2.00 = 363.60 \text{ kN/枚}$$

iii) 枠部反力

$$R = 363.60 / (4 \times 2.00) = 45.45 \text{ kN/m}$$

② 差し筋の照査

<使用鉄筋 : D13 (SD345) : 有効断面積 = 126.7 mm²>

※ 差し筋のピッチ = 40 cm とする。

$$S = 45,450 \times 0.40 = 18,180 \text{ N/m}$$

$$\tau = 18,180 / 126.7 = 143 \text{ N/mm}^2 < \tau a' = 170 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

③ コンクリートのせん断照査

<使用コンクリート : f_{ck} = 24 N/mm²>

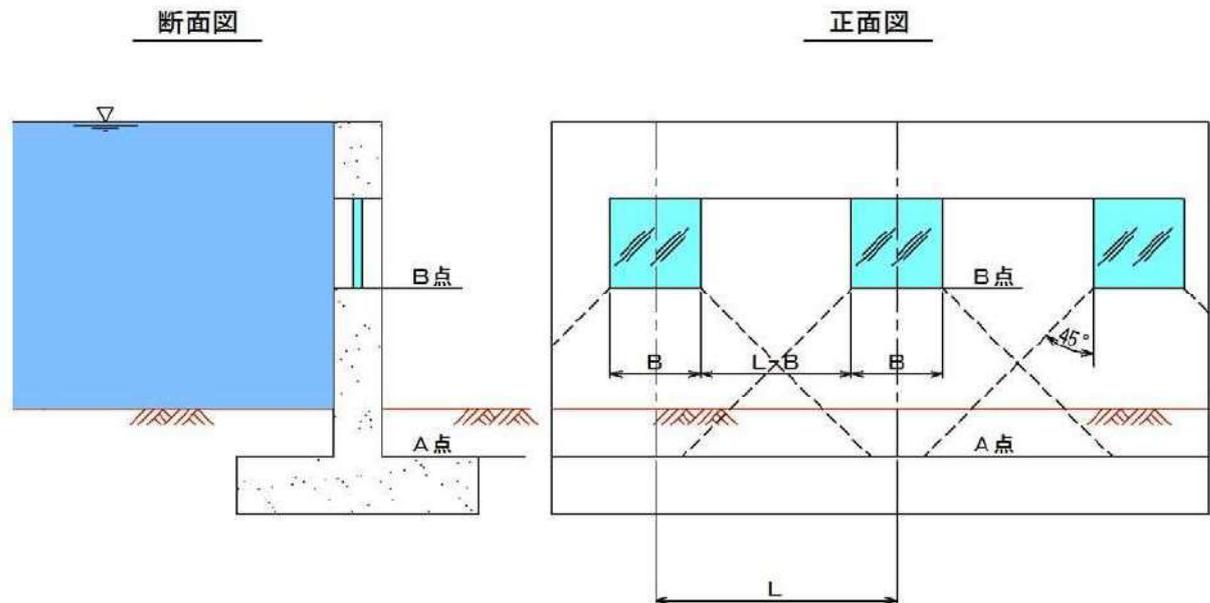
i) コンクリートの有効せん断面積

$$A = 1/2 \times 200 \times (140 + 340) = 48,000 \text{ mm}^2$$

ii) せん断照査

$$\tau = 18,180 / (2 \times 48,000) = 0.19 \text{ N/mm}^2 < \tau a' = 0.9 \times 1.5 = 1.35 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK!}$$

(3) 鉄筋コンクリート壁の配筋照査



① B点における配筋照査

L m 当りに生じる断面力に対して、 $(L-B)$ m で受け持つものとし配筋計算を行います。

② A点における配筋照査

シーウォール下端から下側に向かって断面力が分散することから、通常の配筋計算を行います。 (L) m 当りに生じる断面力に対して、 L m で受け持つ計算となります。

※上記は一例です。設置状況・設計外力に応じて、適切な配筋照査を行って下さい。

5. シーウォールの厚み決定方法

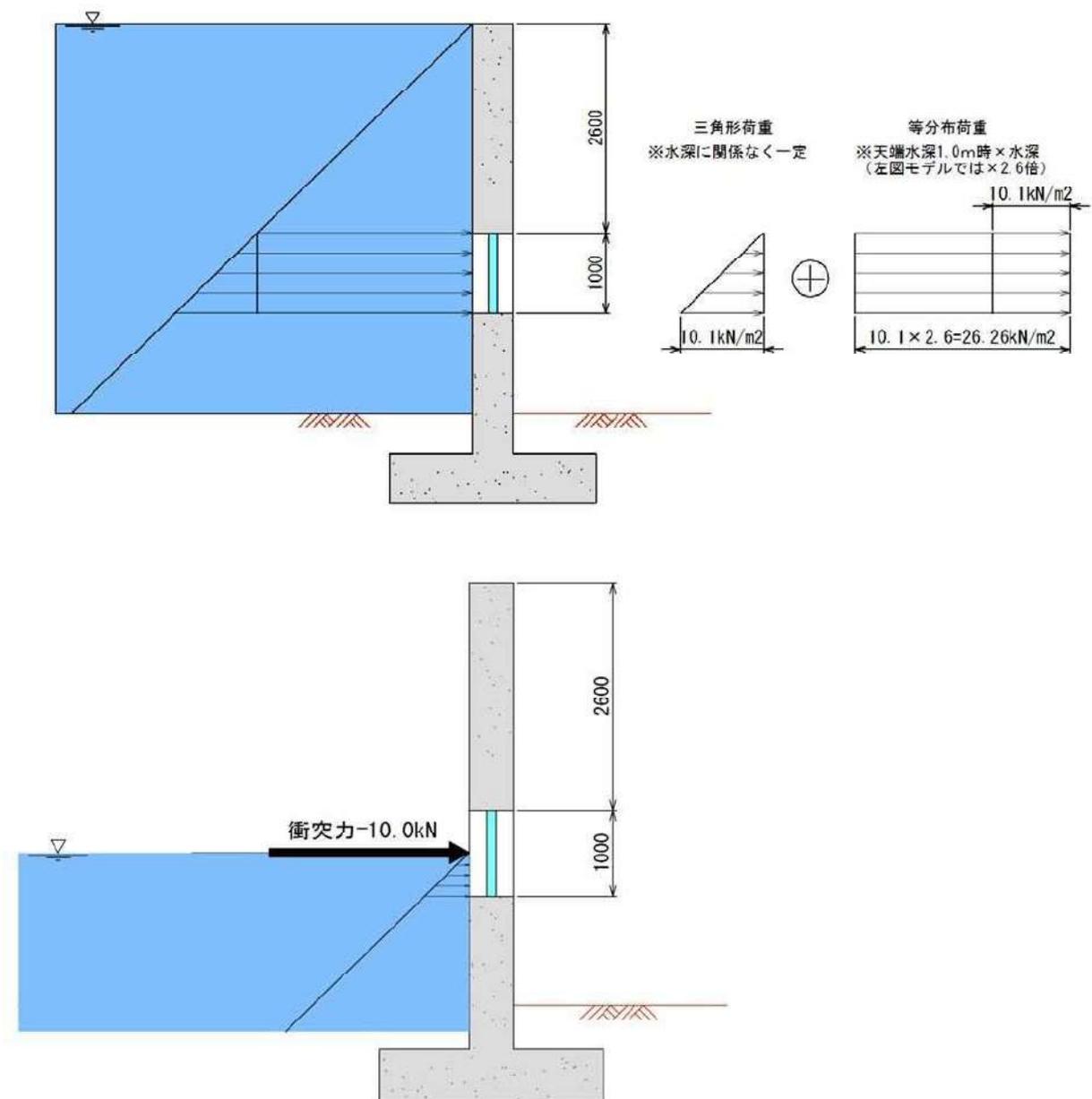
(1) 算出方法概略

標準サイズのシーウォールについては、各アクリル厚に対するFEM解析を行っております。

同じアクリル厚でのFEM解析において、荷重と断面力・変位量が比例致します。よって、基本荷重におけるFEM解析結果を比例配分することにより、設計条件に適合するアクリル厚を求めることができます。

(下図参照)

- ・水圧のみ考慮した場合



(2) 1.00×1.00 サイズの場合の算出例

i) 各アクリル厚の場合の照査結果一覧

①水圧のみ考慮した場合(例として、水深=2.60m)

数値入力	水深 (アクリル上端の水深) h (m)		2.60	※入力		
	衝突荷重 P (kN)		0.00	※0		
			板厚 (mm)			
			26.5	36.5	46.5	
応力 (N/mm ²)	解析結果	計算ケース 1 不等分布荷重1 (A)	1.96	1.16	0.75	
		計算ケース 2 等分布荷重 (B)	3.51	2.08	1.35	
		計算ケース 3 衝突荷重 (C)	25.72	14.07	8.83	
		計算ケース 4 不等分布荷重2 (D)	0.52	0.31	0.20	
	(E) = (A)		1.96	1.16	0.75	
	(F) = h X (B)		9.13	5.41	3.51	
	(E) + (F)		11.09	6.57	4.26	
	許容値		11.30	11.30	11.30	
	判定		OK	OK	OK	
変位 (mm)	解析結果	計算ケース 1 不等分布荷重1 (A)	3.12	1.40	0.73	
		計算ケース 2 等分布荷重 (B)	6.15	2.77	1.45	
		計算ケース 3 衝突荷重 (C)	19.14	8.30	4.29	
		計算ケース 4 不等分布荷重2 (D)	0.59	0.27	0.14	
	(E) = (A)		3.12	1.40	0.73	
	(F) = h X (B)		15.99	7.20	3.77	
	(E) + (F)		19.11	8.60	4.50	
	許容値		66.67	66.67	66.67	
	判定		OK	OK	OK	

②衝突力を考慮した場合(例として、10.00kN)

数値入力	水深 (アクリル上端の水深) h (m)		-0.50	※-0.50		
	衝突荷重 P (kN)		10.00	※入力		
			板厚 (mm)			
			26.5	36.5	46.5	
応力 (N/mm ²)	解析結果	計算ケース 1 不等分布荷重1 (A)	1.96	1.16	0.75	
		計算ケース 2 等分布荷重 (B)	3.51	2.08	1.35	
		計算ケース 3 衝突荷重 (C)	25.72	14.07	8.83	
		計算ケース 4 不等分布荷重2 (D)	0.52	0.31	0.20	
	(G) = (P/10) X (C)		25.72	14.07	8.83	
	(H) = (D) 衝突荷重ありの場合		0.52	0.31	0.20	
	(G) + (H)		26.24	14.38	9.03	
	許容値		11.30	11.30	11.30	
	判定		NG	NG	OK	
変位 (mm)	解析結果	計算ケース 1 不等分布荷重1 (A)	3.12	1.40	0.73	
		計算ケース 2 等分布荷重 (B)	6.15	2.77	1.45	
		計算ケース 3 衝突荷重 (C)	19.14	8.30	4.29	
		計算ケース 4 不等分布荷重2 (D)	0.59	0.27	0.14	
	(G) = (P/10) X (C)		19.14	8.30	4.29	
	(H) = (D) 衝突荷重ありの場合		0.59	0.27	0.14	
	(G) + (H)		19.73	8.57	4.43	
	許容値		66.67	66.67	66.67	
	判定		OK	OK	OK	

ii) 各アクリル厚のFEM解析結果

①アクリル厚=26.5m

1) アクリル板諸条件

弾性係数	2900.0	(N/mm ²)
ポアソン比	0.35	
板厚	26.5	(mm)
許容応力	11.3	(N/mm ²)
許容変位	66.67	(mm)

・許容変位は 短辺 x 1/15 とする。

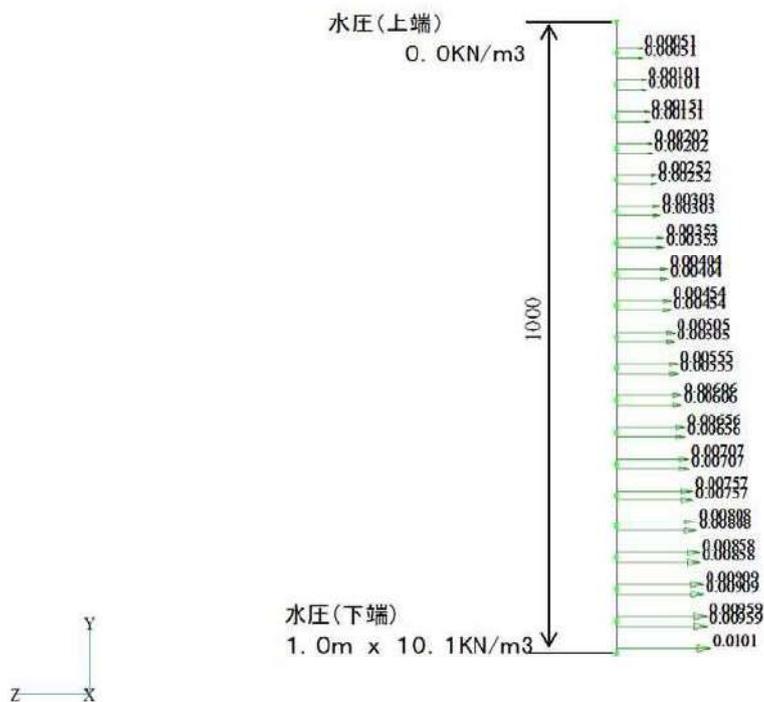
2) 境界条件

周辺支持

(周辺の各節点に 1mあたり 1.0E+7Nmm/rad の 回転バネを設置する。)

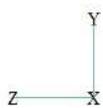
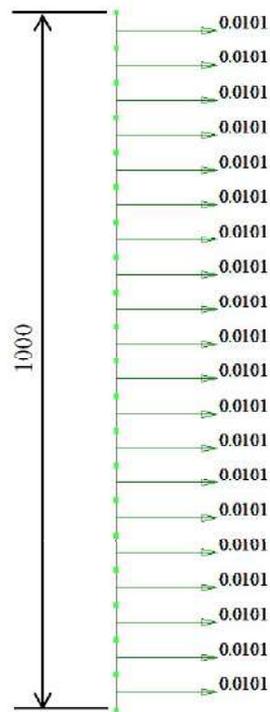
3) 荷重条件

- 計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷
(アクリル上部 0.0kN/m² , アクリル下部10.1kN/m²)
- 計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1kN/m² を 載荷する。
- 計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0kN
- 計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷する。
(アクリル中央部 0.0kN/m² , アクリル下部 5.05kN/m²)



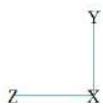
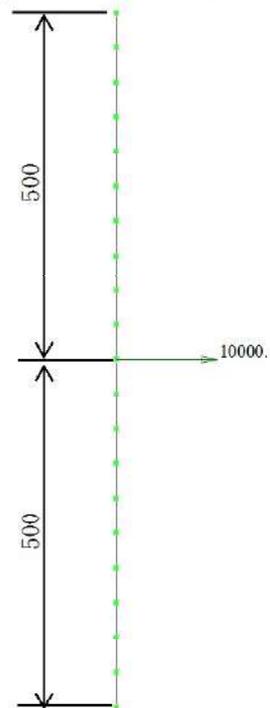
計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

全面に
 $10.1 \text{ kN/m}^3 = 0.0101 \text{ N/mm}^2$

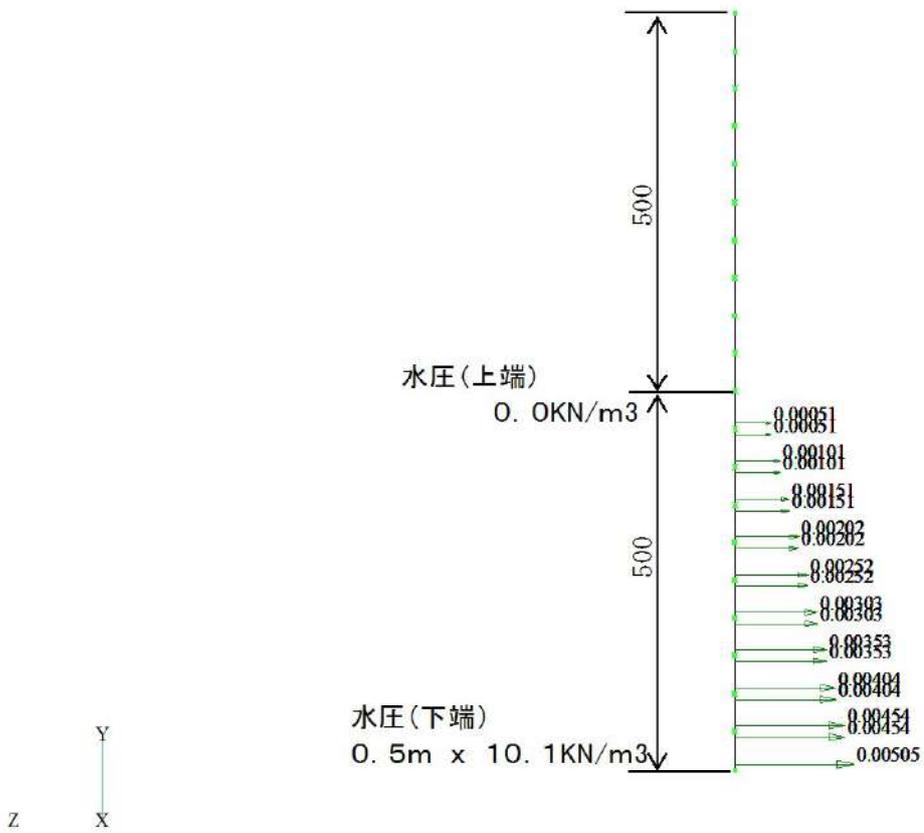


計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m^2 を 載荷

アクリル中央に
 $10.0 \text{ kN} = 10,000 \text{ N}$



計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN



計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

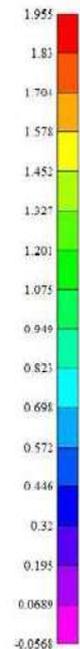
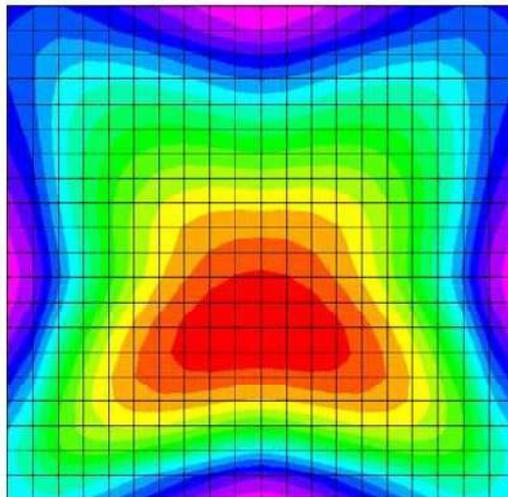
4) - 1 解析結果

計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

V1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Contour: Plate Bot Major Prin Stress

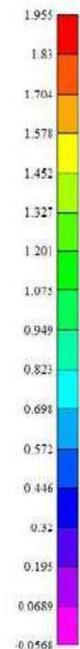
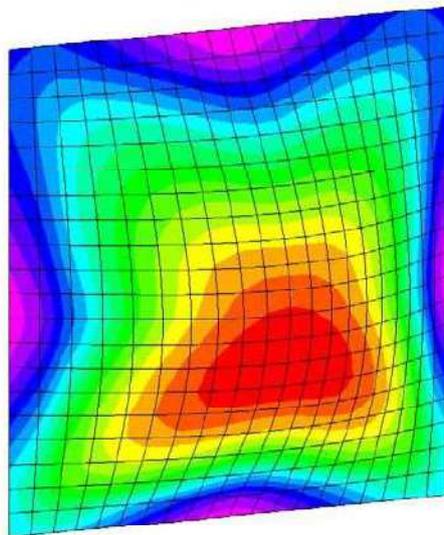


応力 1.96 N/mm²
応力コンター図

V1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Deformed(3117) Total Translation
Contour: Plate Bot Major Prin Stress



応力 1.96 N/mm²
変位 3.12 mm
応力コンター図及び変形図

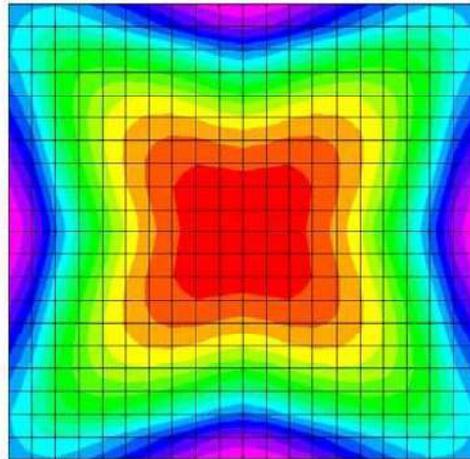
4)-2 解析結果

計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m² を 載荷

V1
L20
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 2
Contour: Plate BotMajorPn Stress

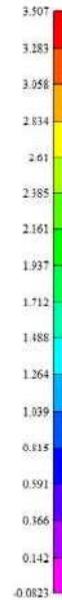
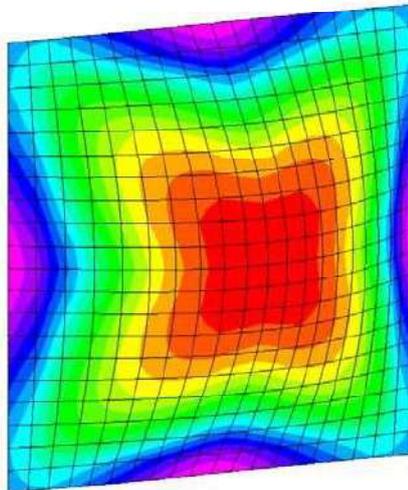


応力 3.51 N/mm²
応力コンター図

V1
L20
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deformed (6.148): Total Translation
Contour: Plate BotMajorPn Stress

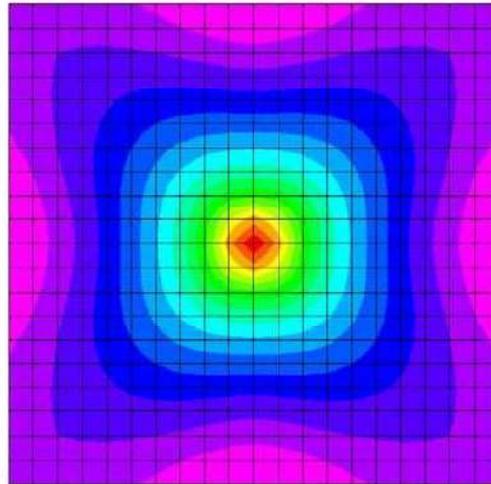


応力 3.51 N/mm²
変位 6.15 mm
応力コンター図及び変形図

4)-3 解析結果

計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN

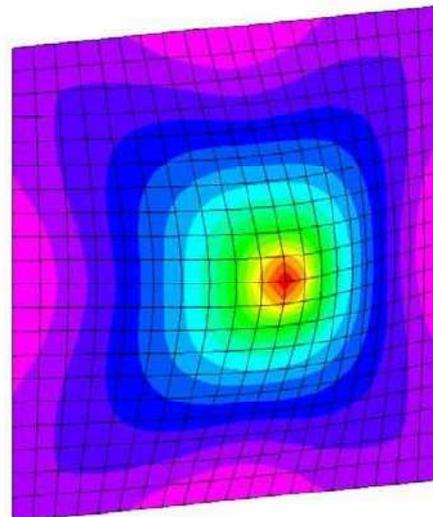
V1
L30
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Plate Bot Major Prn Stress

応力 25.72 N/mm²
応力コンター図

V1
L30
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Deformed(19.14): Total Translation
Contour: Plate Bot Major Prn Stress

応力 25.72 N/mm²
変位 19.14 mm
応力コンター図及び変形図

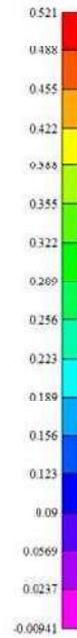
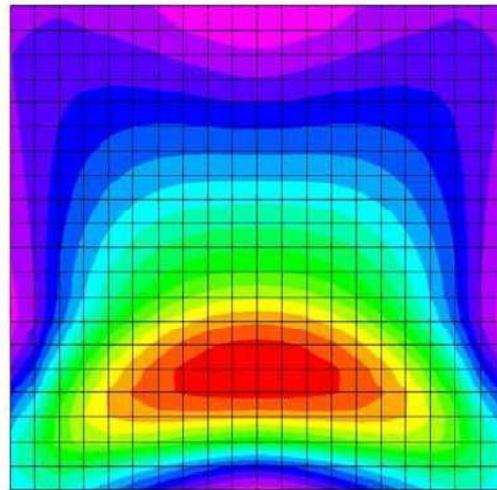
4) - 4 解析結果

計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

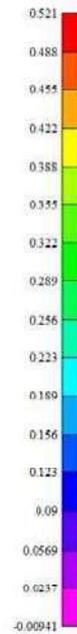
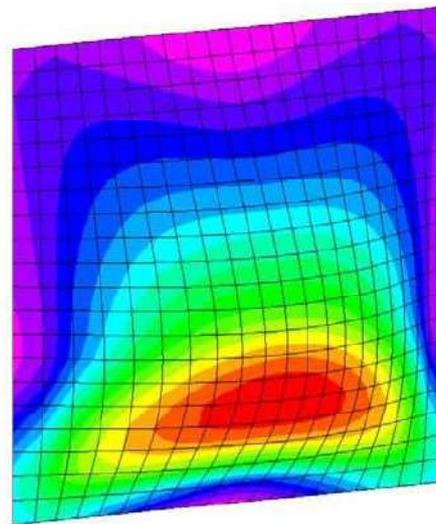


応力 0.52 N/mm²
応力コンター図

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Deformed(0.594) Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPm Stress



応力 0.52 N/mm²
変位 0.59 mm
応力コンター図及び変形図

②アクリル厚=36.5m

1) アクリル板諸条件

弾性係数	2900.0	(N/mm ²)
ポアソン比	0.35	
板厚	36.5	(mm)
許容応力	11.3	(N/mm ²)
許容変位	66.67	(mm)

・許容変位は 短辺 x 1/15 とする。

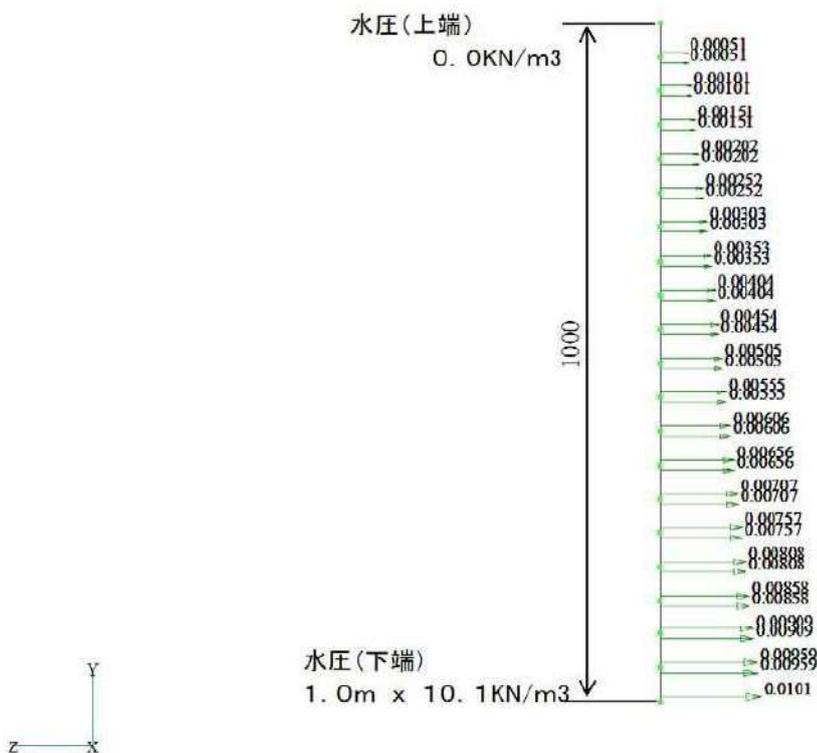
2) 境界条件

周辺支持

(周辺の各節点に 1mあたり 1. 0E+7Nmm/rad の 回転バネを設置する。)

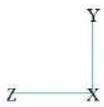
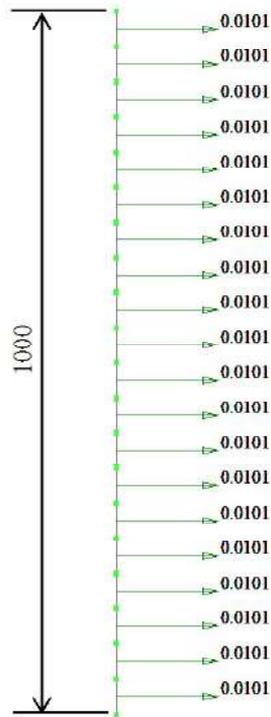
3) 荷重条件

- 計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷
(アクリル上部 0. 0kN/m² , アクリル下部10. 1kN/m²)
- 計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10. 1kN/m² を 載荷する。
- 計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10. 0kN
- 計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷する。
(アクリル中央部 0. 0kN/m² , アクリル下部 5. 05kN/m²)



計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

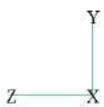
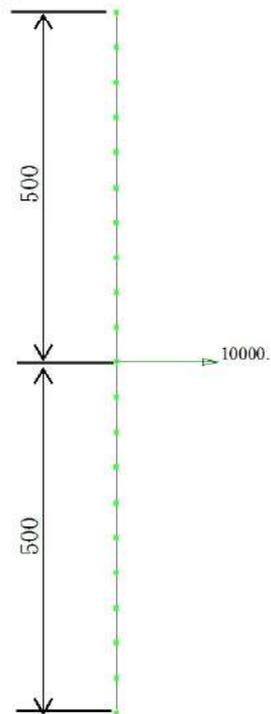
全面に
 $10.1 \text{ kN/m}^3 = 0.0101 \text{ N/mm}^2$



計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m^2 を 載荷

Z

アクリル中央に
 $10.0 \text{ kN} = 10,000 \text{ N}$



計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN

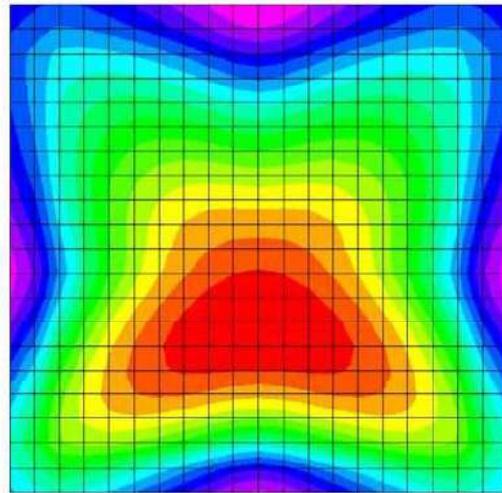
4)-1 解析結果

計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて载荷

V1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Contour: Plate BotMajorPrn Stress

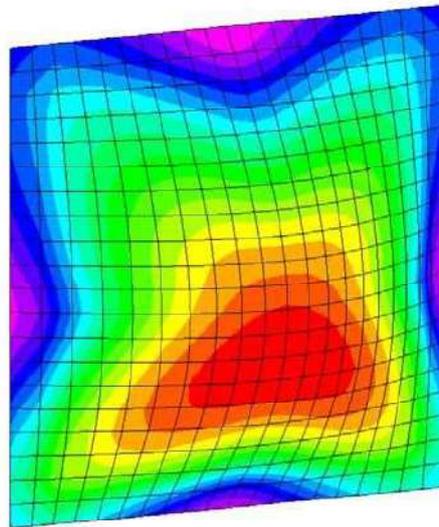


応力 1.16 N/mm2
応力コンター図

V1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Deformed(1.404): Total Translation
Contour: Plate BotMajorPrn Stress



応力 1.16 N/mm2
変位 1.40 mm
応力コンター図及び変形図

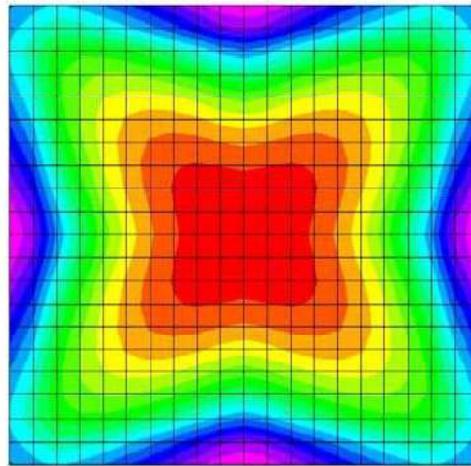
4)-2 解析結果

計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m² を 載荷

V1
L29
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 2
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

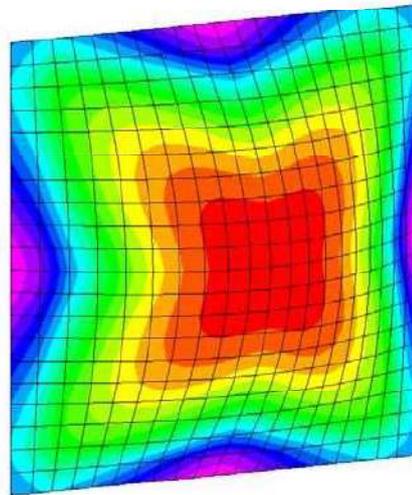


応力 2.08 N/mm²
応力コンター図

V1
L29
C10
G1



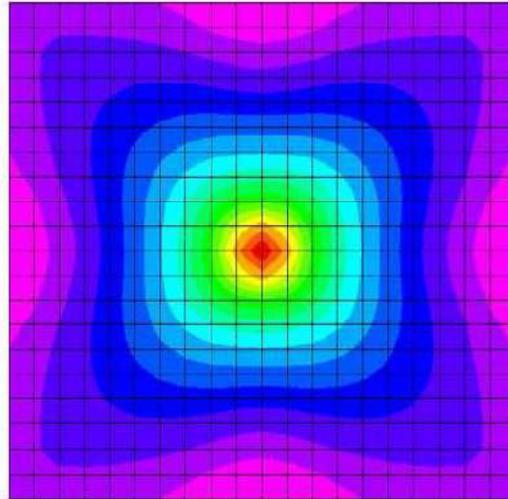
Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deform ed(2.774): Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPm Stress



応力 2.08 N/mm²
変位 2.77 mm
応力コンター図及び変形図

4) -3 解析結果 計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN

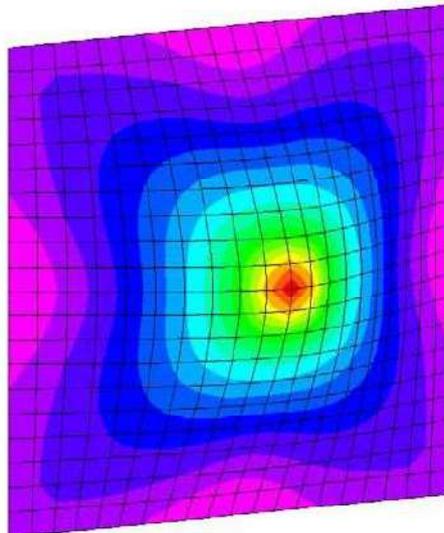
V1
L30
C1.0
GI



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

応力 14.07 N/mm²
応力コンター図

V1
L30
C1.0
GI



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Deformed(8.299): Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

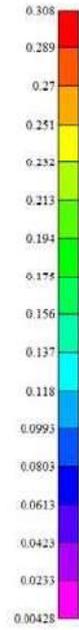
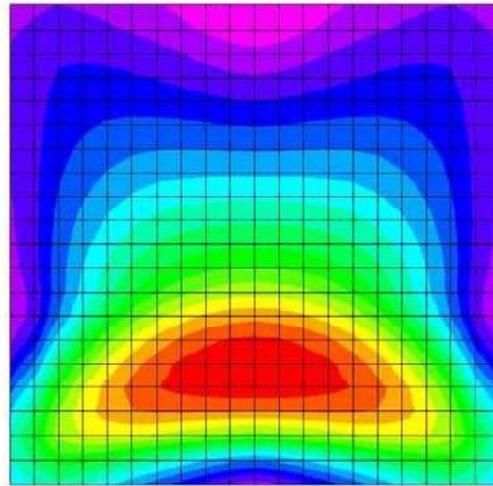
応力 14.07 N/mm²
変位 8.30 mm
応力コンター図及び変形図

4)-4 解析結果 計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Contour: Plate Bot Major Prin Stress

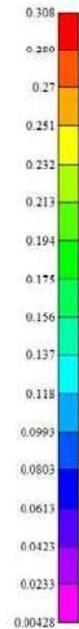
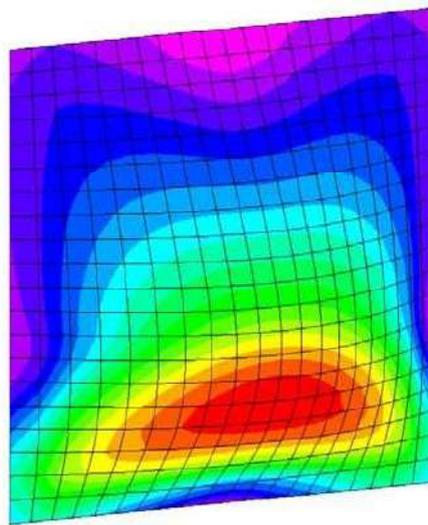


応力 0.31 N/mm²
応力コンター図

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Deformed(0.268) Total Translation
Contour: Plate Bot Major Prin Stress



応力 0.31 N/mm²
変位 0.27 mm
応力コンター図及び変形図

③アクリル厚=46.5m

1) アクリル板諸条件

弾性係数	2900.0	(N/mm ²)
ポアソン比	0.35	
板厚	46.5	(mm)
許容応力	11.3	(N/mm ²)
許容変位	66.67	(mm)

・許容変位は 短辺 x 1/15 とする。

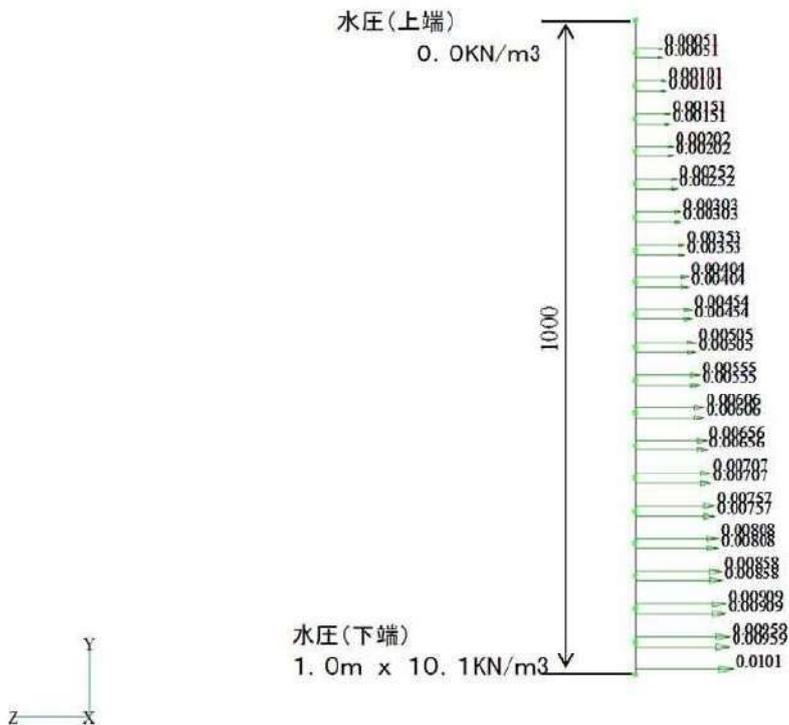
2) 境界条件

周辺支持

(周辺の各節点に 1mあたり 1. 0E+7Nmm/rad の 回転バネを設置する。)

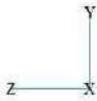
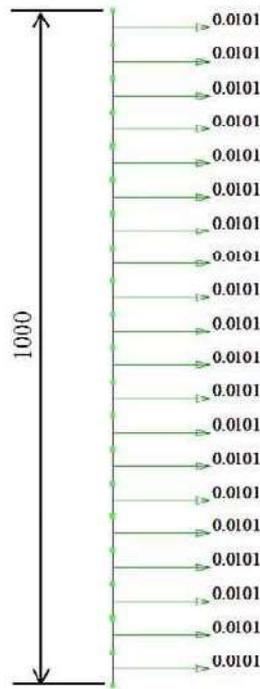
3) 荷重条件

- 計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷
(アクリル上部 0. 0kN/m² , アクリル下部10. 1kN/m²)
- 計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10. 1kN/m² を 載荷する。
- 計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10. 0kN
- 計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷する。
(アクリル中央部 0. 0kN/m² , アクリル下部 5. 05kN/m²)



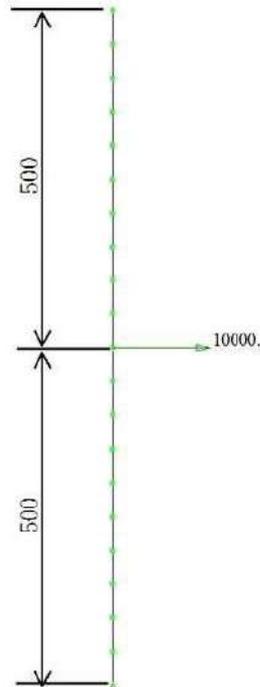
計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

全面に
 $10.1 \text{ kN/m}^2 = 0.0101 \text{ N/mm}^2$

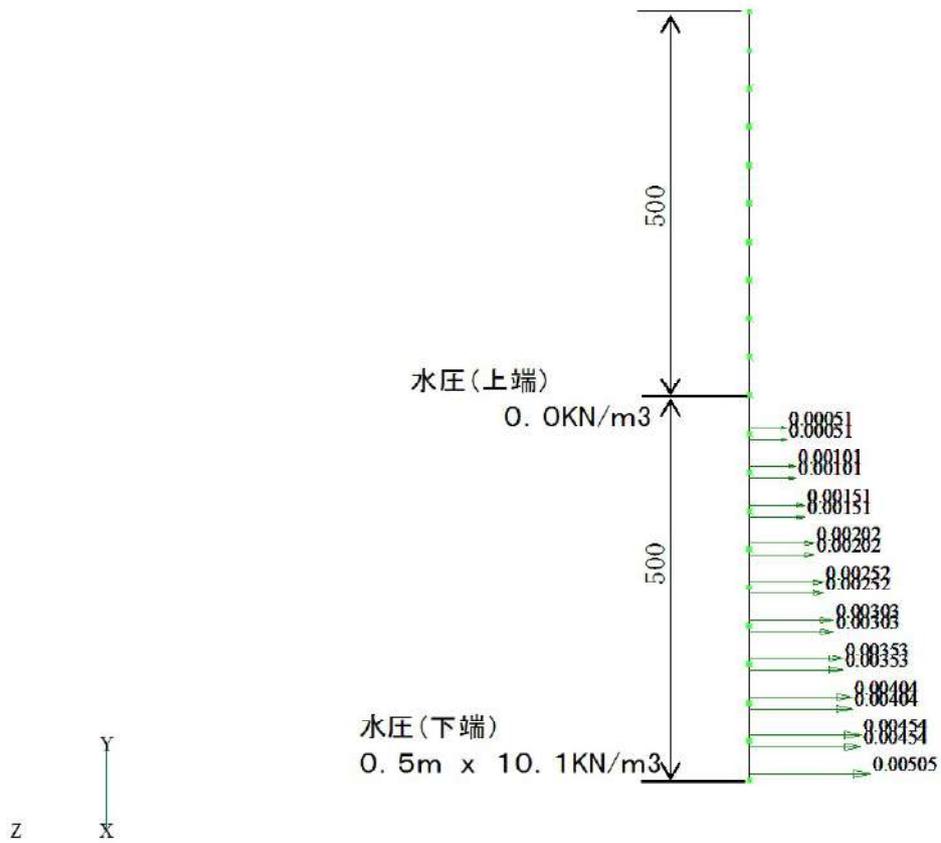


計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m^2 を 載荷

アクリル中央に
 $10.0 \text{ kN} = 10,000 \text{ N}$



計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN



計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

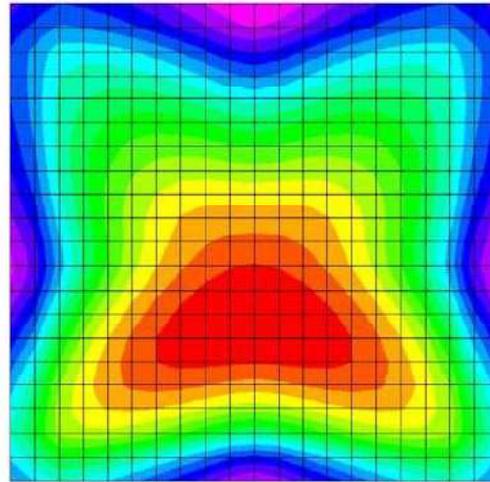
4)-1 解析結果

計算ケース 1 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて载荷

Y1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

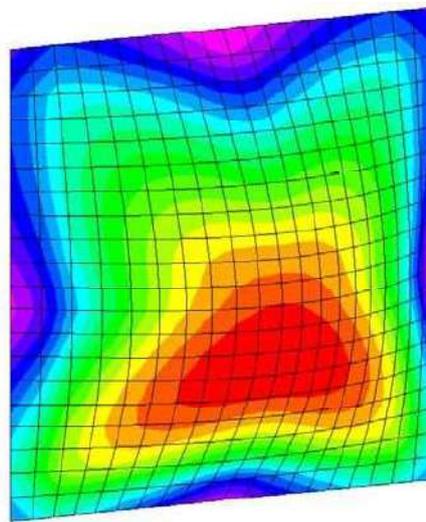


応力 0.75 N/mm²
応力コンター図

Y1
L10
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Deformed(0.732) Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

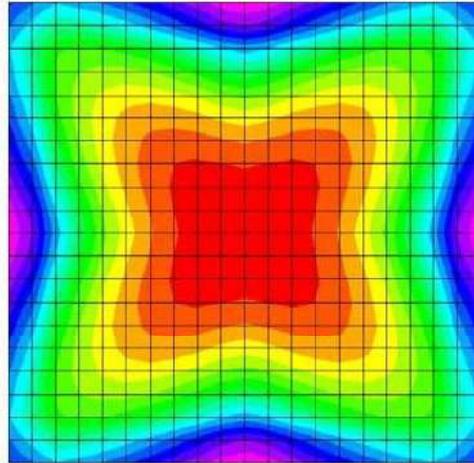


応力 0.75 N/mm²
変位 0.73 mm
応力コンター図及び変形図

4) -2 解析結果

計算ケース 2 アクリル板全面に 等分布荷重 10.1 kN/m² を 載荷

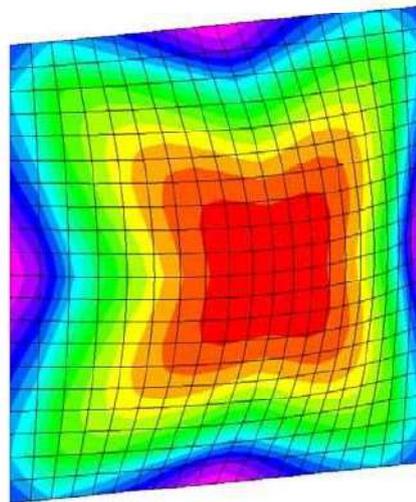
V1
L20
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 2
Contour: Plate Bot Major Prin. Stress

応力 1.35 N/mm²
応力コンター図

V1
L20
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deformed(1.446): Total Translation
Contour: Plate Bot Major Prin. Stress

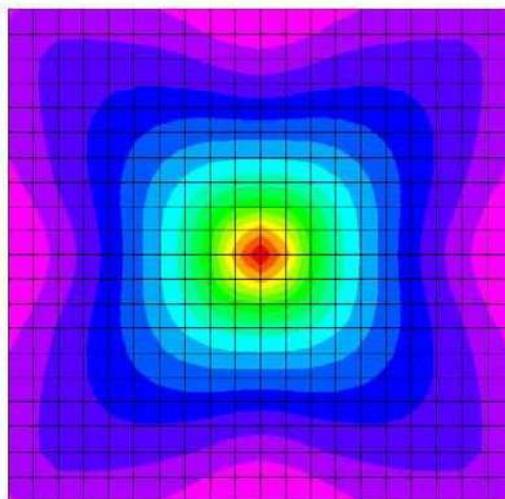
応力 1.35 N/mm²
変位 1.45 mm
応力コンター図及び変形図

4) - 3 解析結果 計算ケース 3 アクリル板中央に 節点荷重 10.0 kN

V1
L30
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Contour: Plate Bot MajorPrn Stress

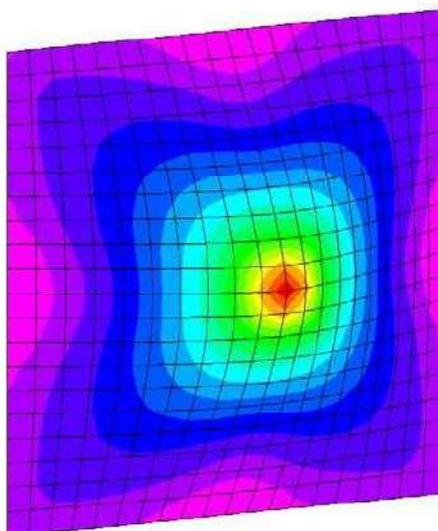


応力 8.83 N/mm²
応力コンター図

V1
L30
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 3
Deform.ed(4288) Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPrn Stress



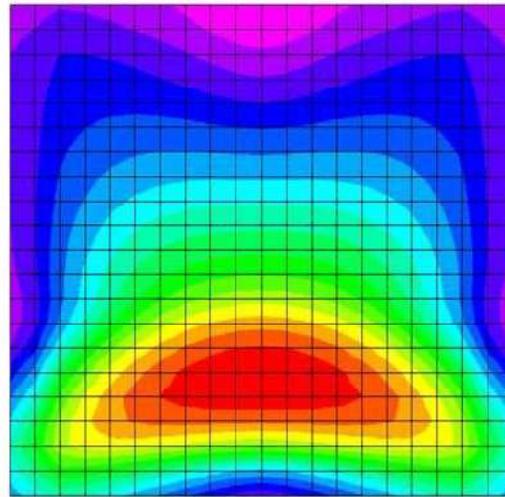
応力 8.83 N/mm²
変位 4.29 mm
応力コンター図及び変形図

4) -4 解析結果 計算ケース 4 全幅(1000mm)に 水圧荷重を 不等分布荷重にて載荷

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Contour: Plate Bot MajorPm Stress

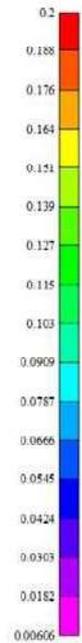
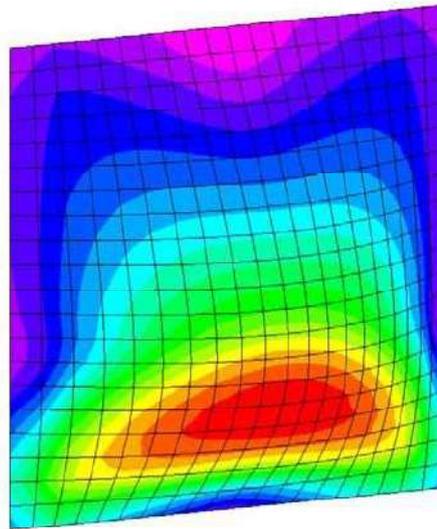


応力 0.20 N/mm²
応力コンター図

V1
L40
C10
G1



Output Set: NX NASTRAN Case 4
Deformed(0.14): Total Translation
Contour: Plate Bot MajorPm Stress



応力 0.20 N/mm²
変位 0.14 mm
応力コンター図及び変形図