

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-他-F-17-0012_改0
提出年月日	2021年7月14日

本資料の内容は、「補足-140-1【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】」の「6.1.5 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材について」として反映予定

防潮堤の止水ジョイント部材について

目次

1.	概要及び評価方針	1
1.1	概要	1
1.2	評価方針	7
2.	性能確認試験	14
2.1	ゴムジョイント	14
2.2	ウレタンシリコーン目地	25
3.	許容限界の設定	60
4.	耐久性	61
4.1	評価項目	61
4.2	ゴムジョイントの評価結果	63
4.3	ウレタンシリコーン目地の評価結果	69
5.	維持管理方針の検討	80
6.	ウレタンシリコーン目地の施工方法について	81

（参考資料1）設計水圧（0.3MPa）を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験（試験水圧：0.34MPa）について

（参考資料2）鋼製遮水壁の塗装について

（参考資料3）ウレタンシリコーン目地の施工管理について

1. 概要及び評価方針

1.1 概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位に対して有意な漏えいを生じない変形に留まる止水ジョイント部材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としている。

止水ジョイント部材は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位の大きさに応じて、ゴムジョイントとウレタンシリコン目地を使い分ける。

これを踏まえ、各止水ジョイント部材を評価対象とし、止水ジョイント部材が地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な耐候性に関しては、耐候性試験により確認する。

防潮堤の平面位置図を図 6.1.5-1 に示す。また、止水ジョイント部材の仕様、設置箇所、拡大図及び詳細図を、それぞれ表 6.1.5-1, 図 6.1.5-2, 図 6.1.5-3 及び図 6.1.5-4 に示す。

なお、背面補強工がある区間のゴムジョイントの下端部については、図 6.1.5-3 に示すように背面補強工には構造目地部があることから、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することで構造境界部の止水性を確実なものとする。

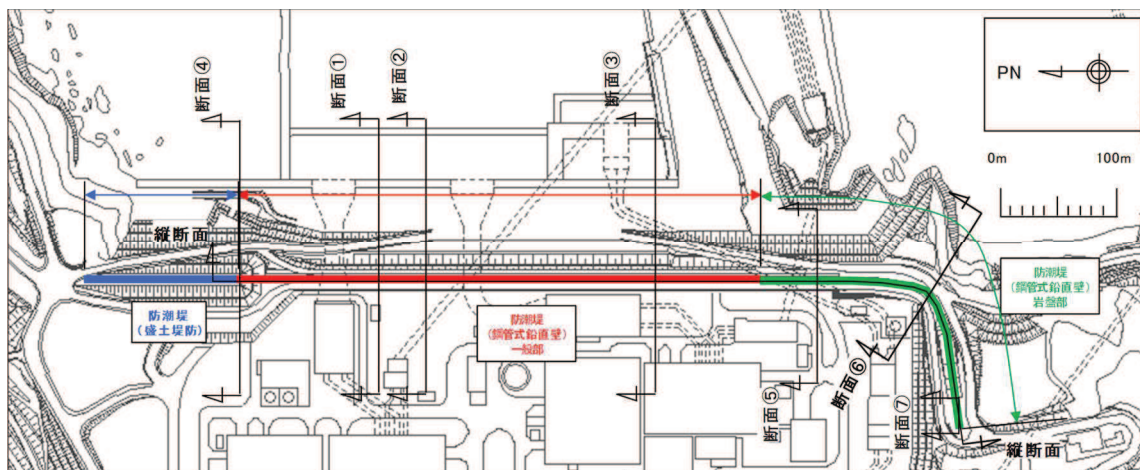


図 6.1.5-1 防潮堤平面位置図

表 6.1.5-1 止水ジョイント部材の仕様

止水ジョイント部材の種類	適用部位	主成分	設置箇所
ゴムジョイント	構造境界部*	クロロプレンゴム	図 6.1.5-2 のとおり
ウレタンシリコーン目地	構造同一部*	ウレタン シリコーン	図 6.1.5-2 のとおり

注記 * : 詳細は「6.1.6 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」に示す。

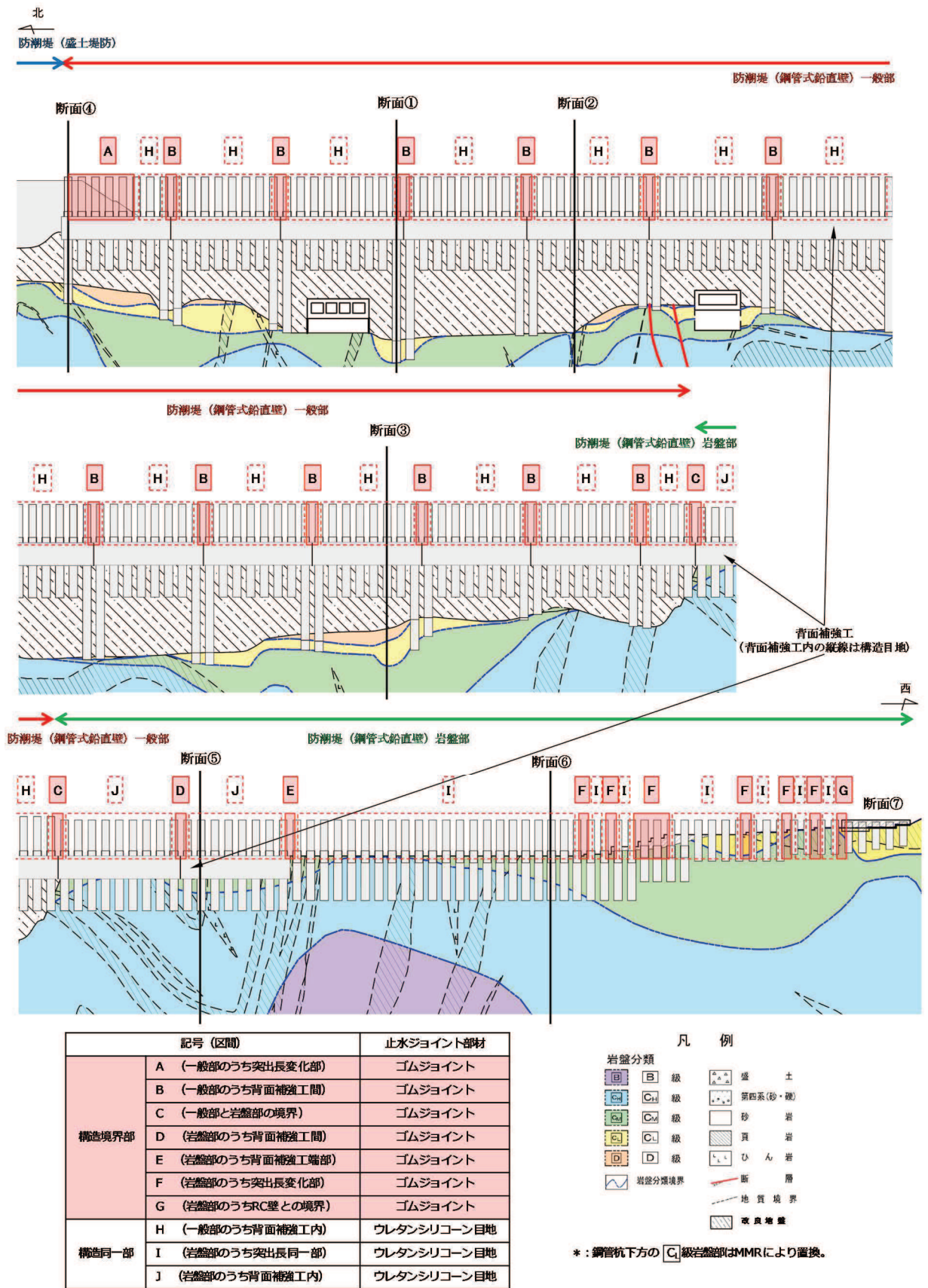
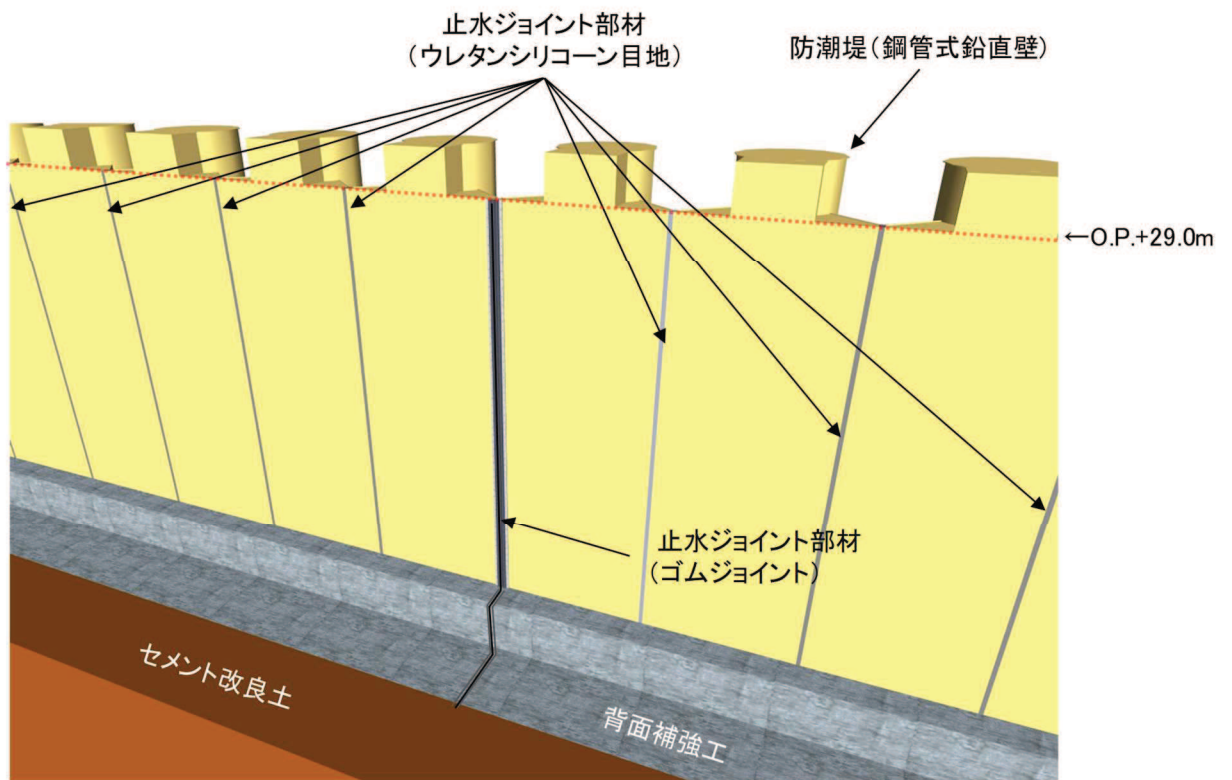
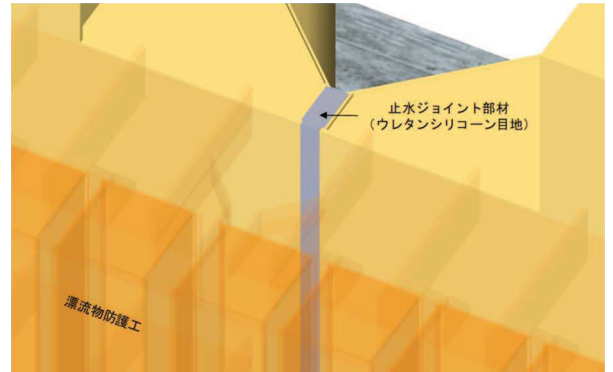
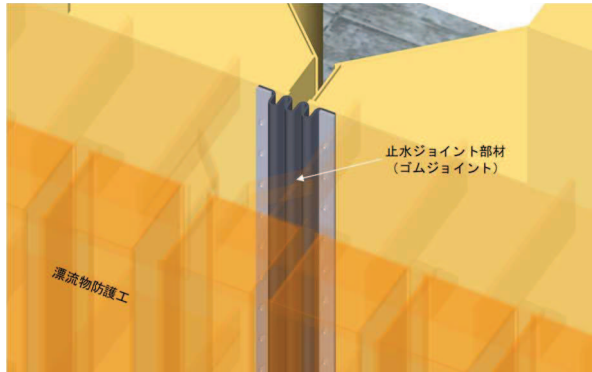


図 6.1.5-2 止水ジョイント部材の設置箇所
（防潮堤縦断面図）



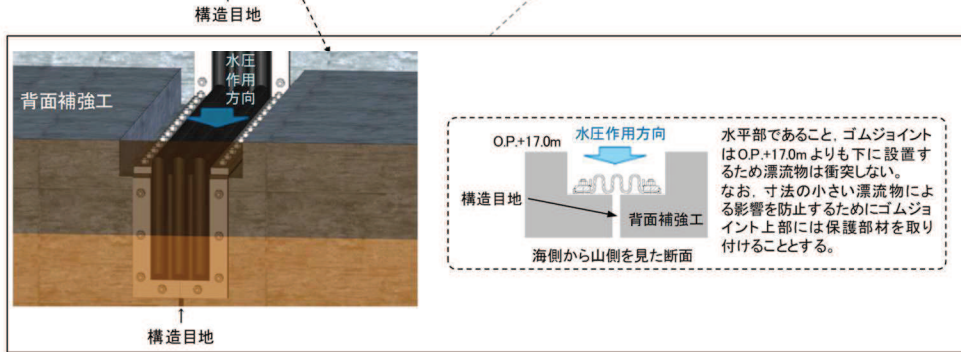
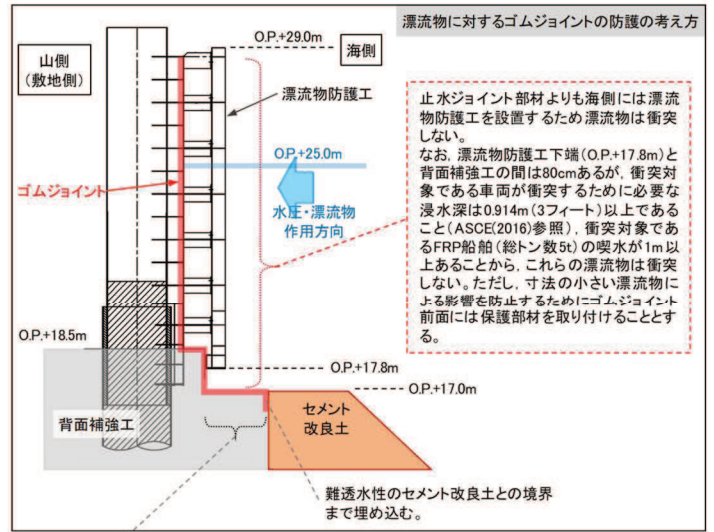
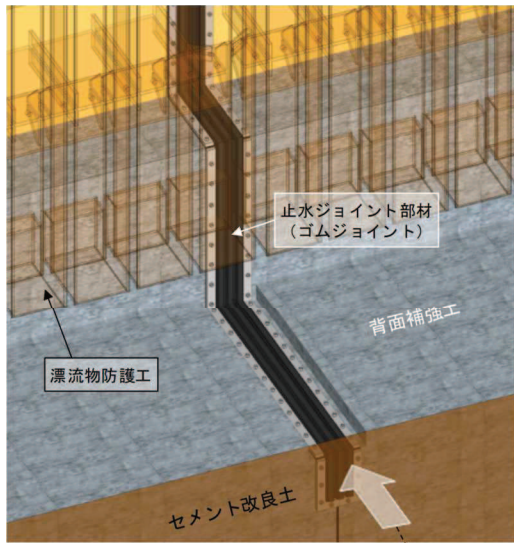
(全体)



(ゴムジョイント部材の設置イメージ)

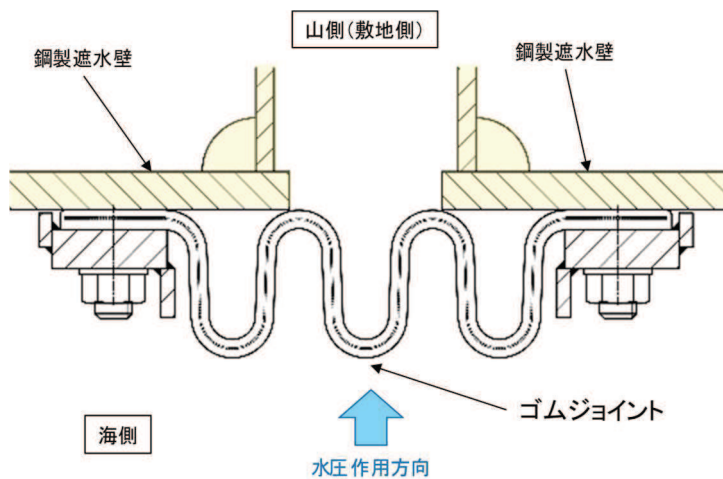
(ウレタンシリコーン目地の設置イメージ)

図 6.1.5-3(1) 止水ジョイント部材設置イメージ図

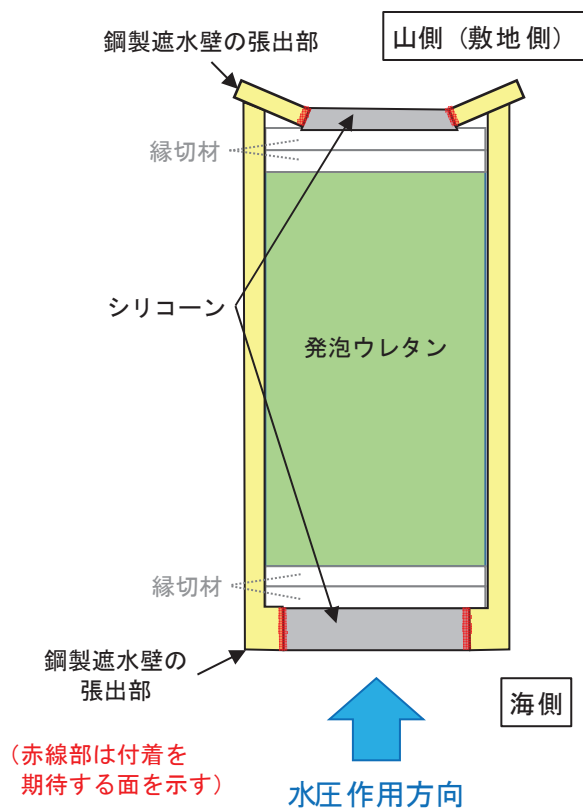


(ゴムジョイント部材の下部詳細)

図 6.1.5-3(2) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ゴムジョイント)



(ウレタンシリコーン目地)

図 6.1.5-4 止水ジョイント部材詳細図

1.2 評価方針

止水ジョイント部材の評価方針として、地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な経年劣化に対して、有意な性能低下が生じないことを耐候性試験により確認する。

止水ジョイント部材の評価フローを図 6.1.5-5 に、確認試験の一覧を表 6.1.5-2 に示す。

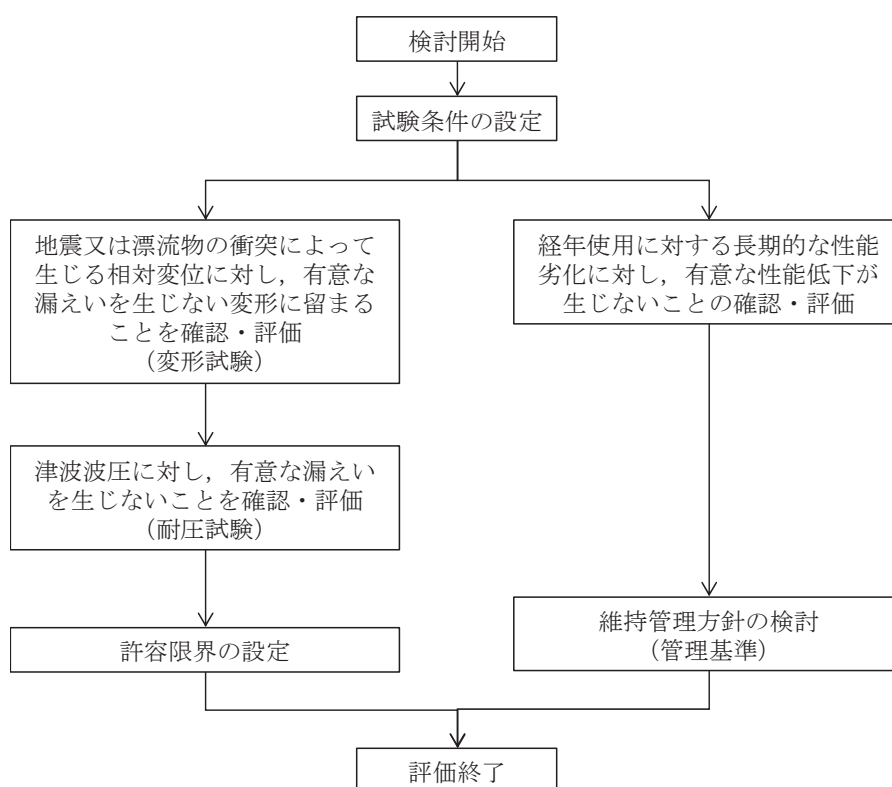


図 6.1.5-5 止水ジョイント部材の評価フロー

表 6.1.5-2 確認試験一覧

項目 確認	地震時	津波時	重畳時
有形に留まることの確認 有意な漏えいを生じない変	— (地震時は津波時の試験で代表)	変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に地震時の変位量又は漂流物衝突による変位量を模擬)	変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に余震時の変位量を模擬)
との確認 有意な漏えいを生じないこ	— (地震時は要求されな いため対象外)	耐圧試験	耐圧試験
ことの確認 有意な性能低下が生じない	耐候性試験		

注記 * : 繰返し载荷及び継続载荷を実施する。

(1) 試験変形量

止水ジョイント部材の変位方向については、図 6.1.5-6 に示すとおり、防潮堤軸方向（以下、「伸び方向」という）及び防潮堤軸直交方向（以下、「せん断方向」という）の2方向とする。

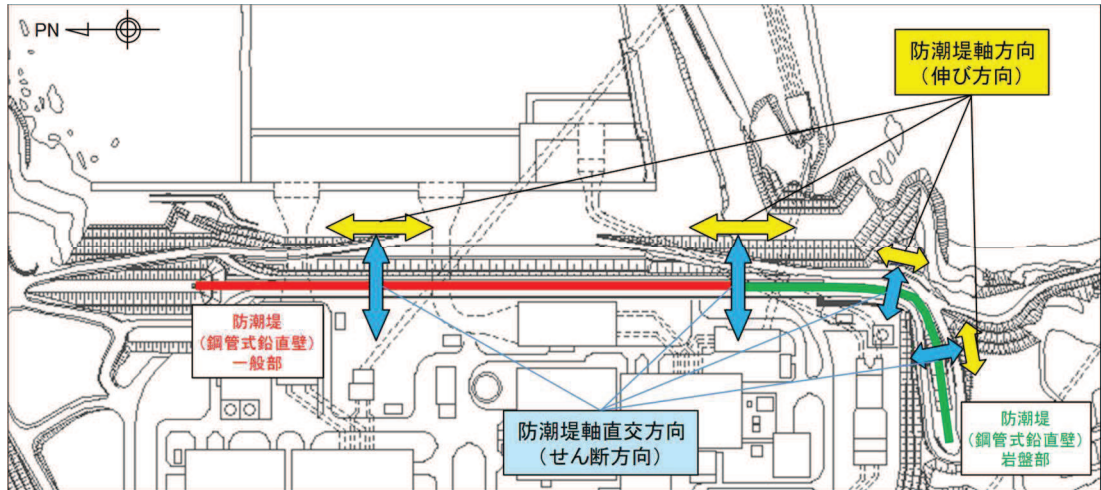


図 6.1.5-6 防潮堤軸直交方向及び防潮堤軸方向の定義

a. ゴムジョイント

ゴムジョイントの試験時変位量は図 6.1.5-7 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-3 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-3 に示す変位量を与えた条件で実施する。

耐圧条件 : 0.40 MPa

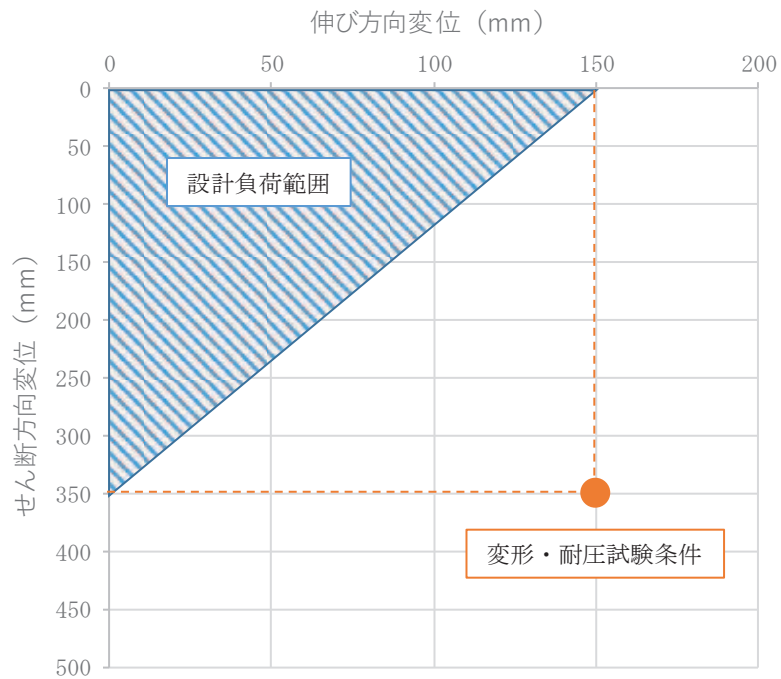


図 6.1.5-7 ゴムジョイントの設計負荷範囲

表 6.1.5-3 ゴムジョイントの試験時変位量

変位量
伸び 150mm, せん断 350mm

b. ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地の試験時変位量は図 6.1.5-8 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-4 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-4 に示す変位量を与えた条件で実施する。

耐圧条件 : 0.30 MPa

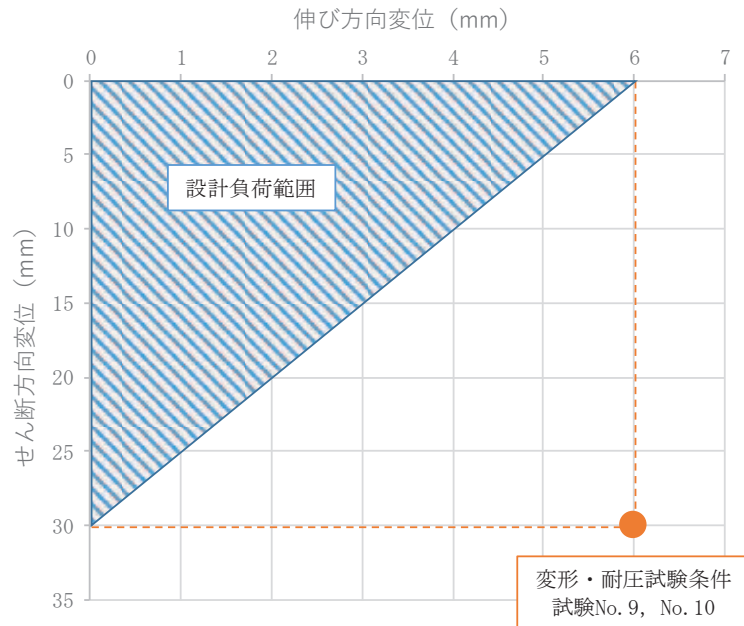


図 6.1.5-8 ウレタンシリコーン目地の設計負荷範囲

表 6.1.5-4 ウレタンシリコーン目地の試験時変位量

変位量
伸び 6mm, せん断 30mm

(2) 試験水圧

試験水圧は、津波時に止水ジョイント部材に作用する水圧として、遡上津波波圧及び余震による動水圧を算定の上、設定する。

遡上津波波圧については、防潮堤前面における最大津波水位標高（入力津波水位：O.P.+24.4m）に余裕を考慮した津波水位 O.P.+25.0m と防潮堤前面（海側）の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。遡上津波波圧を表 6.1.5-5 に示す。

また、余震による最大動水圧は、弾性設計用地震動 S_d-D₂ を入力地震動とした地震応答解析より算出する。最大動水圧を表 6.1.5-6 に示す。

各評価断面における遡上津波波圧と最大動水圧の合計は表 6.1.5-7 のとおりであり、断面③における 280.6kN/m² (0.2806MPa) が最大である。そのため、保守的に 300kN/m² (0.30MPa) とする。ゴムジョイントについては、さらに保守的に 400kN/m² (0.40MPa) とする。

なお、念のため、海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.05g/cm³ 又は 1.1g/cm³ と仮定した場合においても水圧は 300kN/m² 以下であることを確認しているが、299.67kN/m² であり、ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m² に対して余裕が少ないことから、340kN/m² (0.34MPa) とした場合の試験も実施した（参考資料 1）。

断面①～⑥の位置を図 6.1.5-1 及び図 6.1.5-2 に示す。

表 6.1.5-5 遡上津波波圧

断面	設計津波高 (O.P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (O.P. (m))	設計用 浸水深 (m)	防潮堤 天端波圧 (kN/m ²)	背面補強工 天端での波圧 (kN/m ²)
①～⑤	25.0	0.5	12.25	83.4	189.4
⑥	25.0	0.0	12.5	85.9	191.9

注記 *1 : 防潮堤天端高は O.P. +29.0m

*2 : 背面補強工天端高は O.P. +18.5m

表 6.1.5-6 最大動水圧

断面	防潮堤天端高 (O.P. (m))	入力津波高 (O.P. (m))	地震動 (位相)	最大動水圧 (kN/m ²)
①	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	69.0
②	29.0	25.0	S d - D 2 (- -)	70.9
③	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	91.2
⑤	29.0	25.0	S d - D 2 (- +)	41.5
⑥	29.0	25.0	S d - D 2 (+ +)	58.2

表 6.1.5-7 遡上津波波圧と最大動水圧の合計

断面	防潮堤前面の 地盤高での波圧 (kN/m ²)	最大動水圧 (kN/m ²)	波圧と動水圧の合 計 (kN/m ²)
①	189.4	69.0	258.4
②	189.4	70.9	260.3
③	189.4 (202.25) *	91.2 (97.42) *	<u>280.6</u> (299.67) *
⑤	189.4	41.5	230.9
⑥	191.9	58.2	250.1

注記* : 海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.1g/cm³ と仮定した場合の水圧を示す。

2. 性能確認試験

止水ジョイント部材に対して、地震時、津波時及び重畳時の最大相対変位を想定して伸び・せん断変形させ、有意な漏えいを生じない変形に留まることを試験により確認する。また、止水ジョイント部材に対して、上記最大相対変位及び津波による波圧を想定した伸び・せん断変形及び水圧を作用させることにより、有意な漏えいを生じない性能を保持することを試験により確認する。

2.1 ゴムジョイント

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

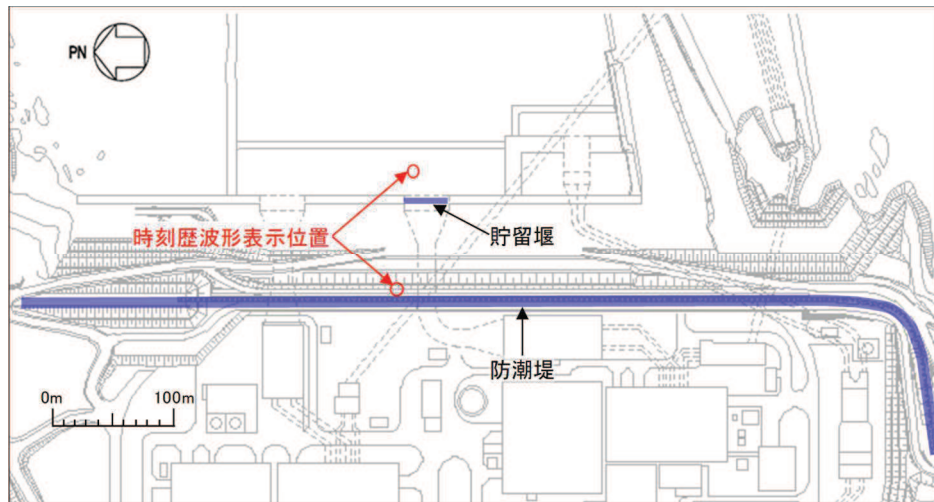
試験条件として表 6.1.5-8 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 1 時間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，ゴムジョイントに有意な損傷や漏えいが生じないことを確認する。

ゴムジョイントの性能確認試験フローを図 6.1.5-10 に，変形・耐圧試験のイメージを図 6.1.5-11 に，変形・耐圧試験の状況を図 6.1.5-12 に示す。

表 6.1.5-8 ゴムジョイントの試験条件

試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
変形試験	伸び 150mm せん断 350mm	—	—
耐圧試験	伸び 150mm せん断 350mm	0.40MPa	10 分以上*

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 1 時間とした。



(時刻歴波形表示位置)

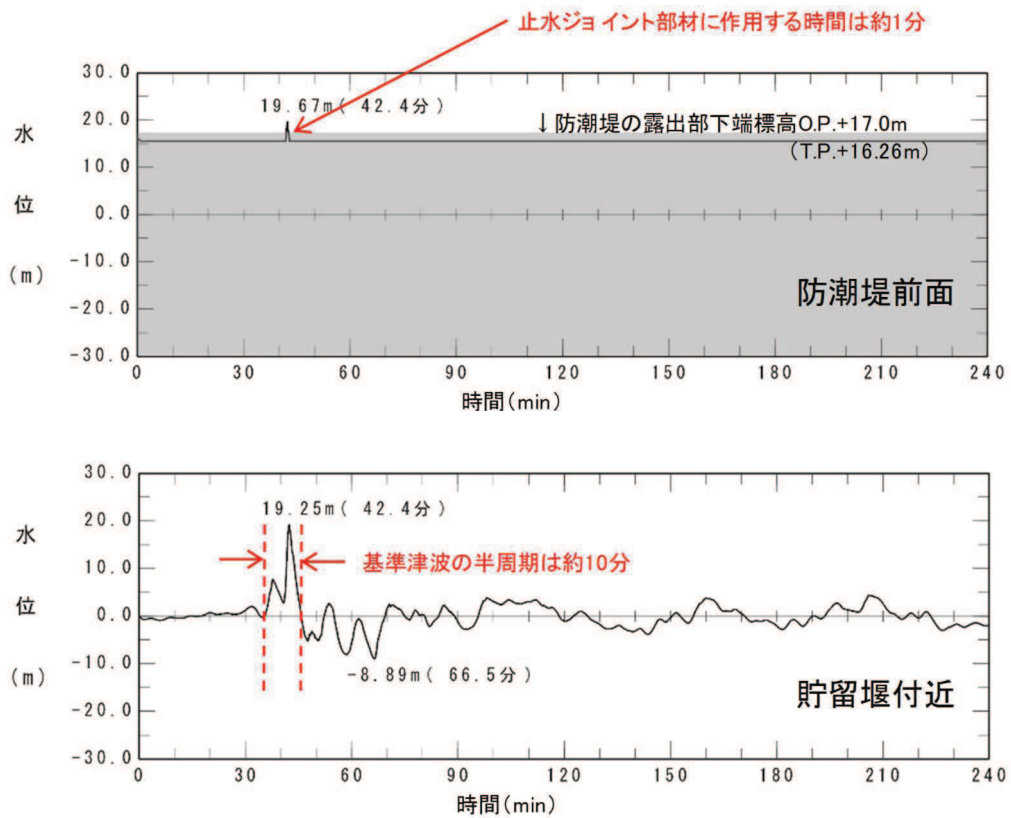


図 6.1.5-9 防潮堤前面及び貯留堰付近の水位時刻歴波形

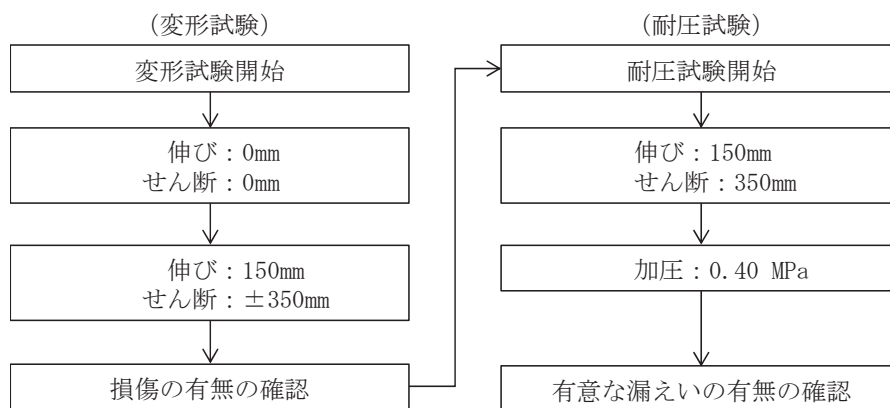


図 6.1.5-10 ゴムジョイントの性能確認試験フロー

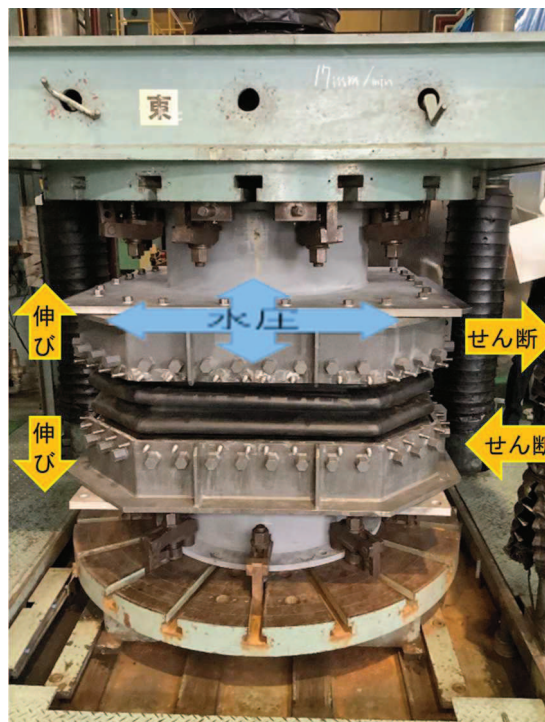


図 6.1.5-11 変形・耐圧試験のイメージ

(2) 試験状況写真

a. 設置状況確認 (伸び 0mm, せん断 0mm, 水圧 0MPa)

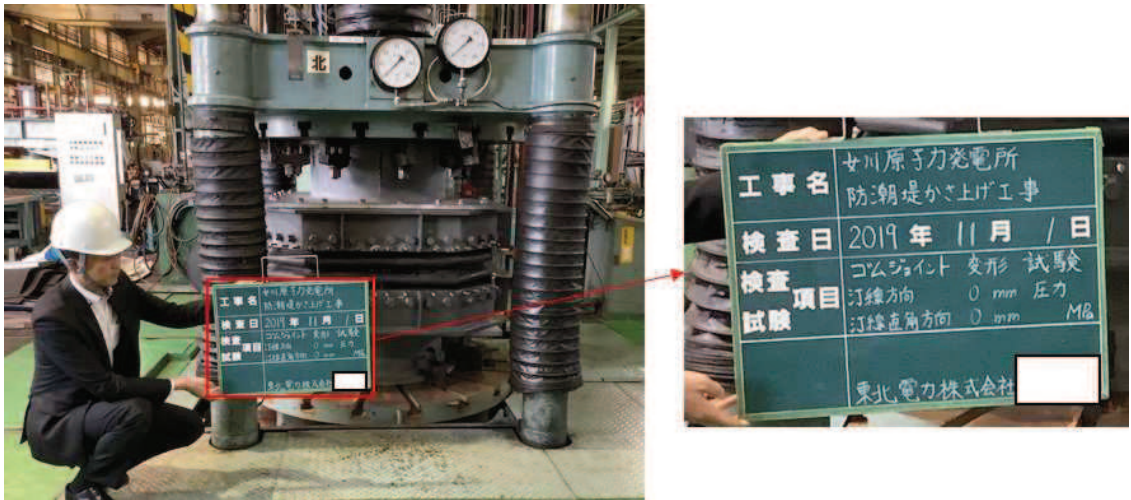


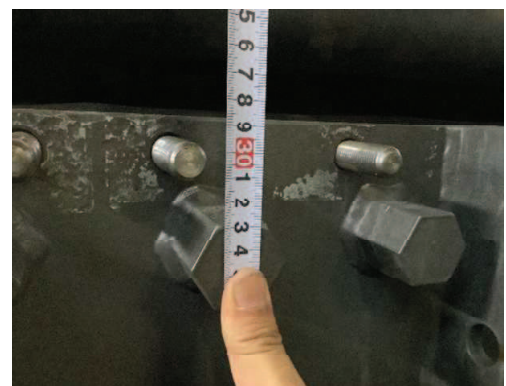
図 6.1.5-12(1) 全体状況



図 6.1.5-12(2) ゴムジョイント設置状況



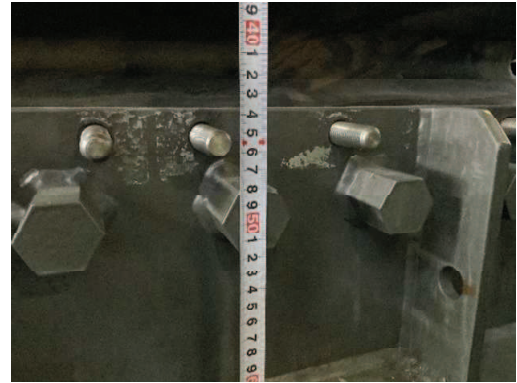
枠間距離計測状況



ボルト間距離 (初期値) : 330 mm

図 6.1.5-12(3) ゴムジョイント設置状況 (枠間距離計測)

b. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



枠間距離計測状況（損傷無し）

ボルト間距離：480 mm
 （初期値 330mm + 伸び 150mm = 480mm）

図 6.1.5-12(4) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm）

c. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）



図 6.1.5-12(5) 変形試験全体状況（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）



せん断方向距離計測状況

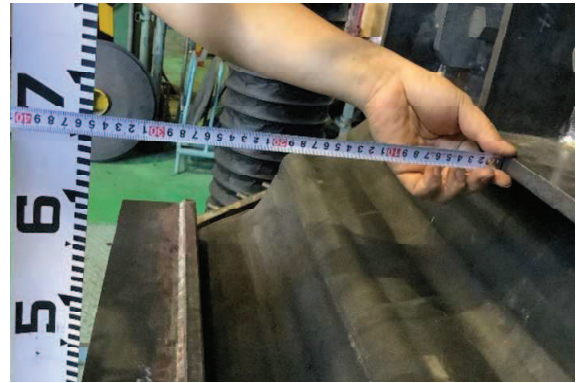


せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(6) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm，せん断：350mm）



せん断方向距離計測状況



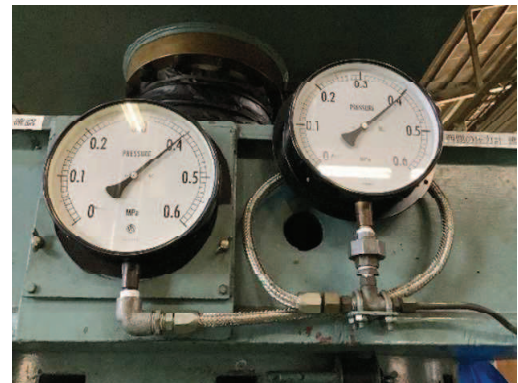
せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(7) ゴムジョイント変形試験状況 (伸び：150mm, せん断：350mm)

d. 耐圧試験状況確認 (伸び 150mm, せん断 350mm, 水圧 0.40MPa)



加圧状況 (漏えい無し)



0.40MPa 加圧

図 6.1.5-12(8) ゴムジョイント耐圧試験状況(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)



0.40MPa, 1時間保持後 (漏えい無し)



0.40MPa, 1時間保持後

図 6.1.5-12(9) ゴムジョイント耐圧試験結果(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)

(3) 試験結果

所定の変位（伸び 150mm，せん断 350mm）を与えた上で，津波による波圧を上回る水圧 0.40MPa を 10 分以上（加圧時間：1 時間）加圧した結果，表 6.1.5-9 に示すとおり損傷及び漏えいが無いことを確認した。

表 6.1.5-9 ゴムジョイントの試験結果

試験種別	変位量	水圧	耐圧 保持時間	損傷， 漏えい	判定
変形試験	伸び 150mm せん断 350mm			無し	OK
耐圧試験	伸び 150mm せん断 350mm	0.40MPa	10 分以上	無し	OK

(4) ゴムジョイント取付け部

ゴムジョイントの取付け部から有意な漏えいを生じさせないためには、以下に示す取付けボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する必要がある。図 6.1.5-13 にゴムジョイントの断面を示す。

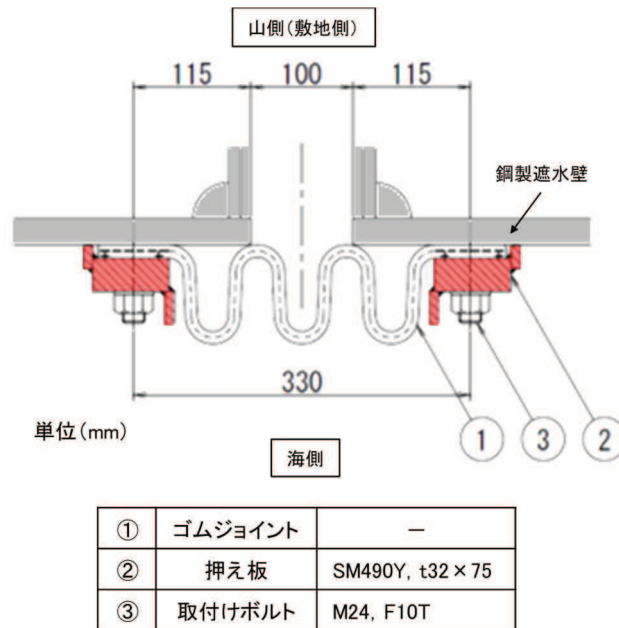


図 6.1.5-13 ゴムジョイントの断面

変位及び水圧が作用した際に、ゴムジョイントに張力が発生して、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれる方向に力が働く。この力に対して、押え板又は銅製遮水壁とゴムの摩擦力で抵抗するため、摩擦力を発生させるために必要な取付けボルトの軸力を算出し、ボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する。

図 6.1.5-14 に示すとおり、ゴムジョイントに作用している変位は、上述の試験と同様の伸び方向 150mm、せん断方向 350mm とし、水圧は 0.4MPa とする。この条件でのゴムジョイントの耐圧半径は 270mm であり、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm) は構造力学公式集の式から算出される。

8.2 円筒シェル

(A) 一様内圧

$$N_x = \frac{pr}{2}, \quad N_\theta = pr, \quad \Delta r = \frac{r}{Et} (N_\theta - \nu N_x)$$

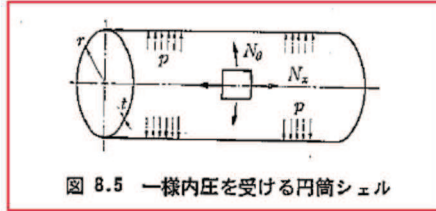


図 8.5 一様内圧を受ける円筒シェル

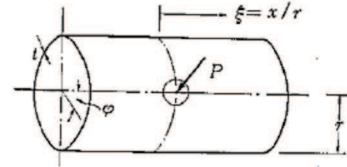


図 8.6 径方向集中荷重を受ける円筒シェル

構造力学公式集 (一部加筆)

$$N_0 = pr = 0.4 \times 270 = 108 \text{ (N/mm)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

p : 作用水圧 (MPa=N/mm²)

r : 水圧を受ける半径 (mm)

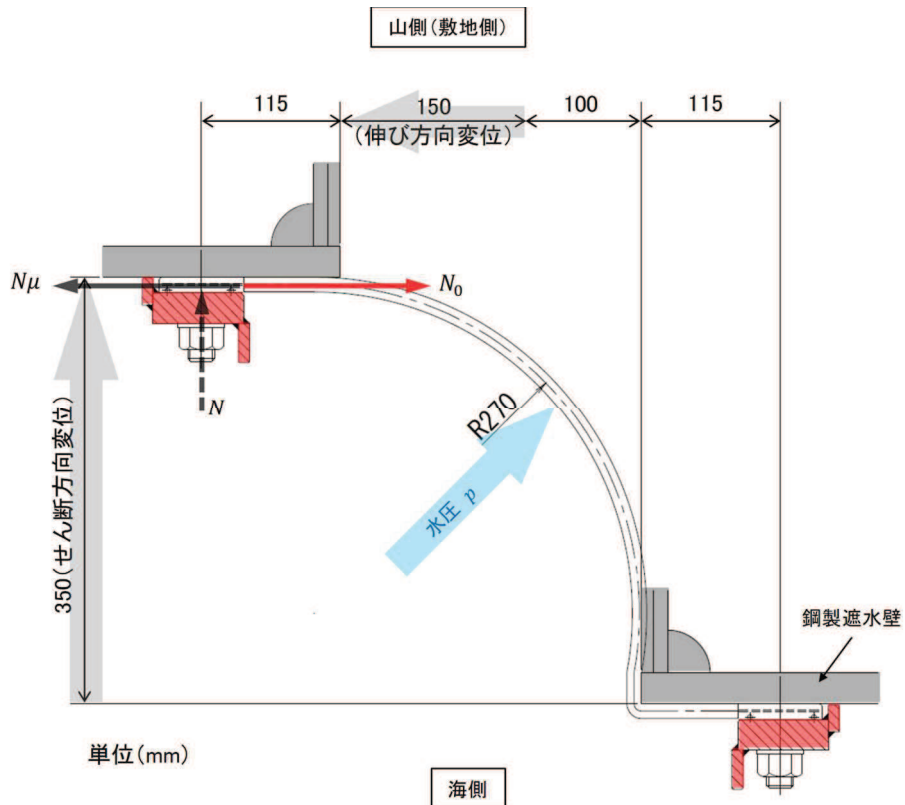


図 6.1.5-14 ゴムジョイントに生じる引張応力及び変位及び水圧作用時のゴムジョイントの断面図

ゴムジョイントが押え板と鋼製遮水壁から引き抜かれる力(引抜力: T (N))は、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm) と取付けボルトのピッチ L (mm) から算出される (図 6.1.5-14)。

$$T = N_0 L = 108 \times 200 = 21600 \text{ (N)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

T : 引抜力 (N)

L : 取付けボルトのピッチ (mm)

この引抜力 T (N) から取付けボルトの必要軸力 N (N) は以下のとおり算出される (図 6.1.5-14)。

$$N = \frac{T}{\mu} \gamma = 21600 / 0.4 \times 1.8 = 97200 \text{ (N)}$$

N : 取付けボルトの必要軸力 (N)

μ : 摩擦係数 (=0.4, メーカー基準 (試験値))

γ : 安全率 (=1.8, メーカー基準)

T : 引抜力 (N)

以上から、取付けボルトの発生応力(引張応力) σ_t は 276 (N/mm²)であり、F10Tの短期許容引張応力 σ_{ta} の 465 (N/mm²) *以下であること、締付け面圧 P_0 も設計水圧 0.4 (MPa) 以下であることから、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれることはないことを確認した。

$$\sigma_t = \frac{N}{A_S} = 97200 / 353 = 275.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 465 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

σ_t : 取付けボルトの発生応力(引張応力) (N/mm²)

A_S : 取付けボルトの有効断面積 (353mm²) *

注記* : 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編より

$$P_0 = \frac{N}{wL} = 97200 / (200 \times 75) = 6.48 \text{ (MPa)} > 0.4 \text{ (MPa)}$$

P_0 : 締付け面圧 (MPa=N/mm²)

w : 押え板の接触幅 (75mm)

なお、取付けボルトの軸力は経時によって低下することを想定しているため、施工時の軸力（導入軸力 N' (N)）は取付けボルトの必要軸力 N (N) よりも大きくしておく必要がある。

導入軸力 N' (N) は以下のとおり算出されるため、この軸力を確保するため施工時においてトルク管理を行うこととする。

$$N' = \frac{N}{\alpha} = 97200/0.77 = 126234 \quad (\text{N})$$

α : 応力緩和係数 (=0.77, メーカーによる基準 (試験値))

2.2 ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地は図 6.1.5-15 に示すように、シリコーン及び硬質ポリウレタンフォームで構成され、シリコーンとウレタンの間にはウレタンを施工するための型枠としてポリエチレン製の縁切材を入れてある。

ウレタンシリコーン目地は複数の部位で構成されていることを踏まえ、性能確認試験において確認する事項を明確にする必要がある。そのため、荷重伝達、止水機能を発揮するメカニズム、各部位の役割及び損傷モードを整理し、試験での確認事項を設定する方針とした。

まず、地震時、津波時及び重畳時の荷重の伝達及び止水機能を発揮するメカニズムについて整理を行った。荷重伝達の概要及び止水機能を発揮するメカニズムを図 6.1.5-16 に、荷重伝達の詳細を図 6.1.5-17 に示す。

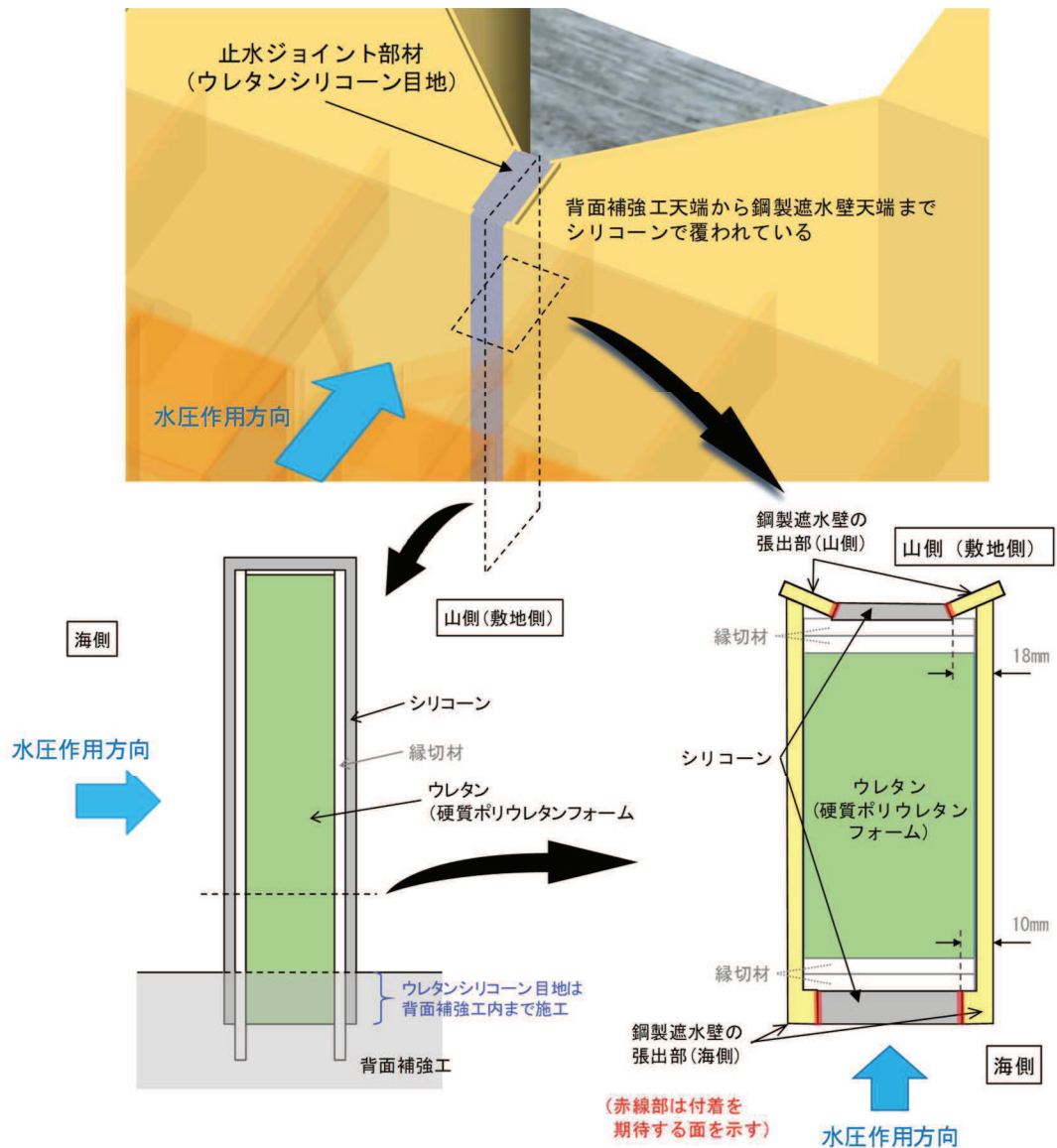


図 6.1.5-15 ウレタンシリコーン目地の詳細

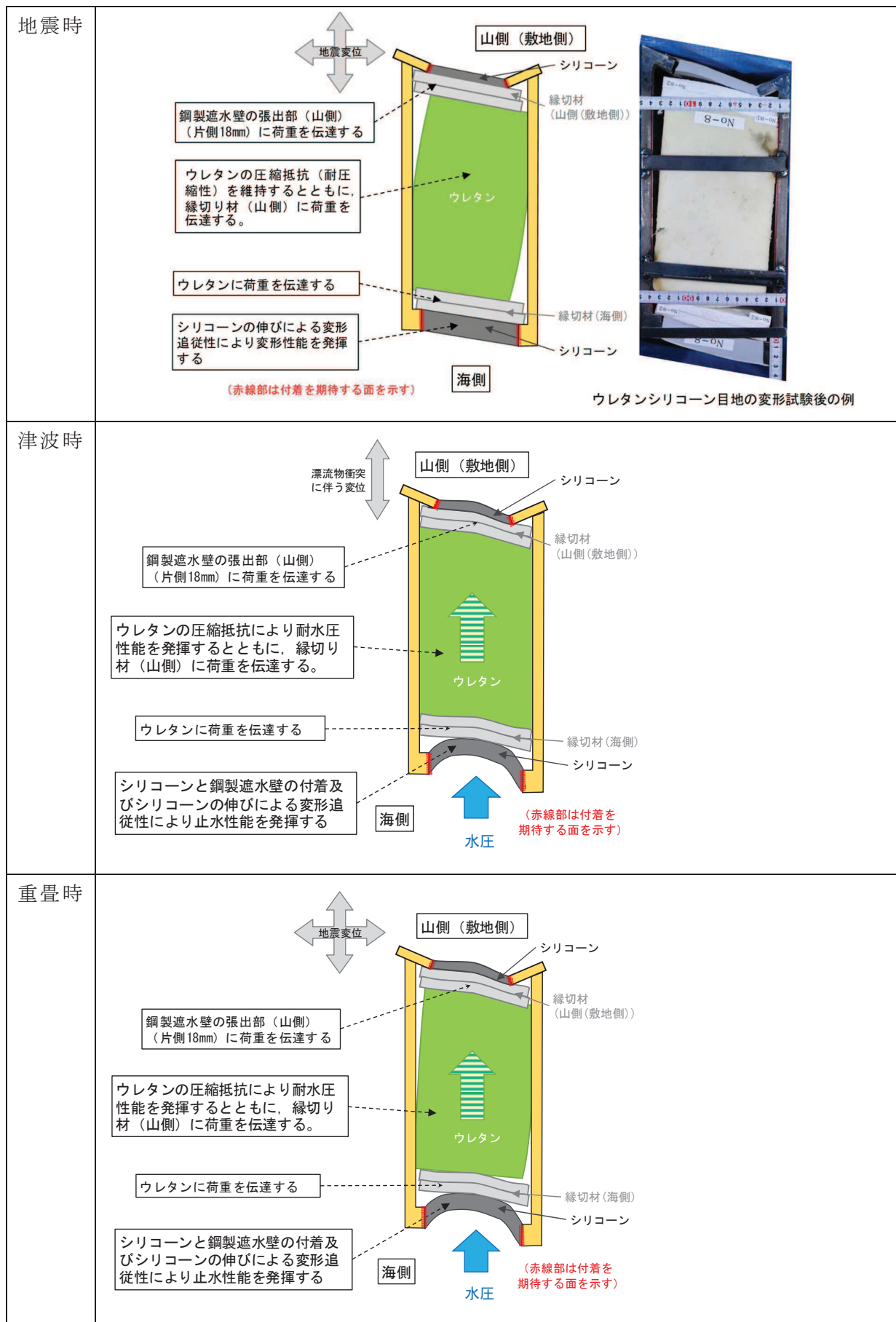


図 6. 1. 5-16 荷重伝達の概要及び止水性能発揮のメカニズム

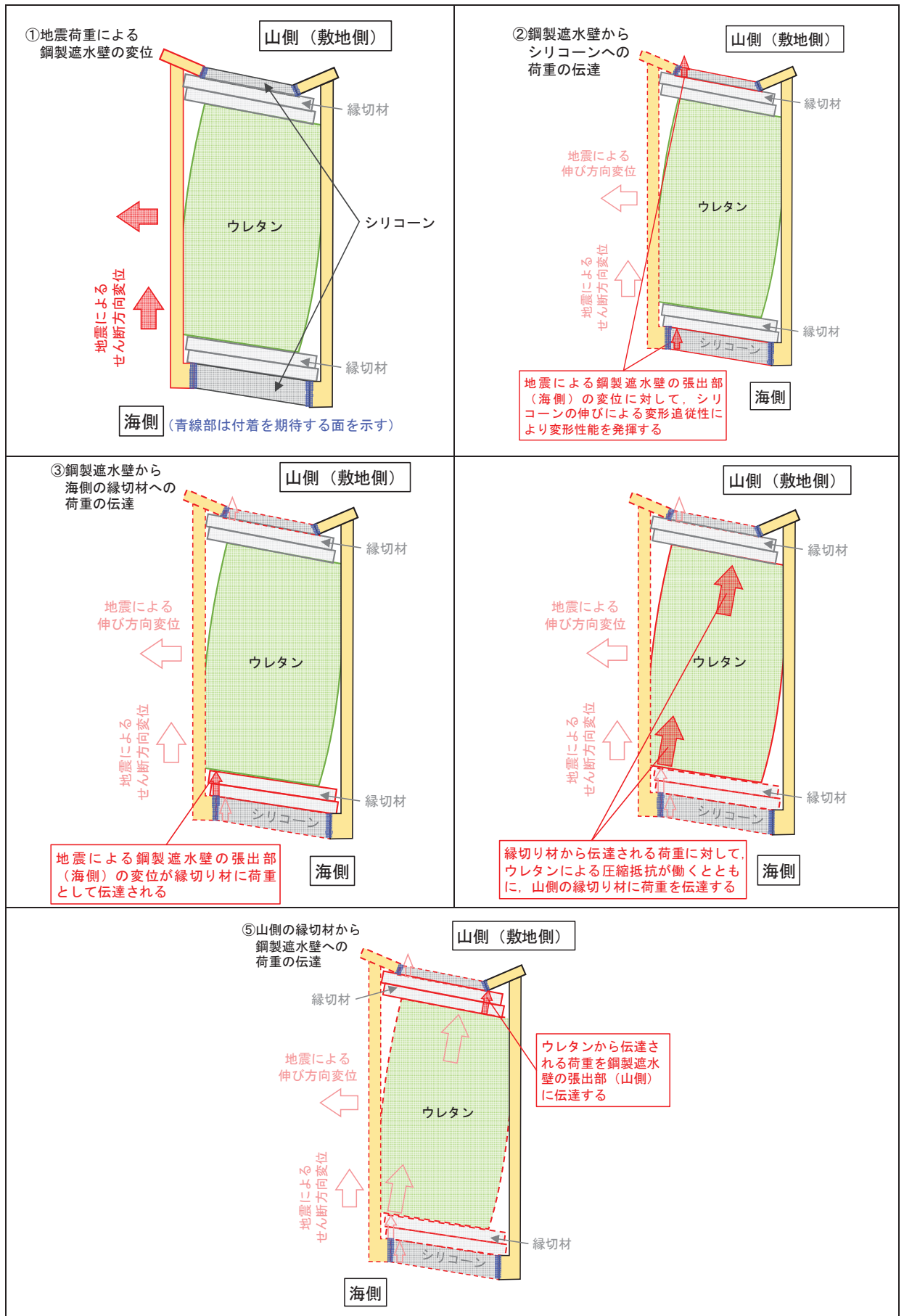


図 6.1.5-17(1) 地震時の荷重伝達

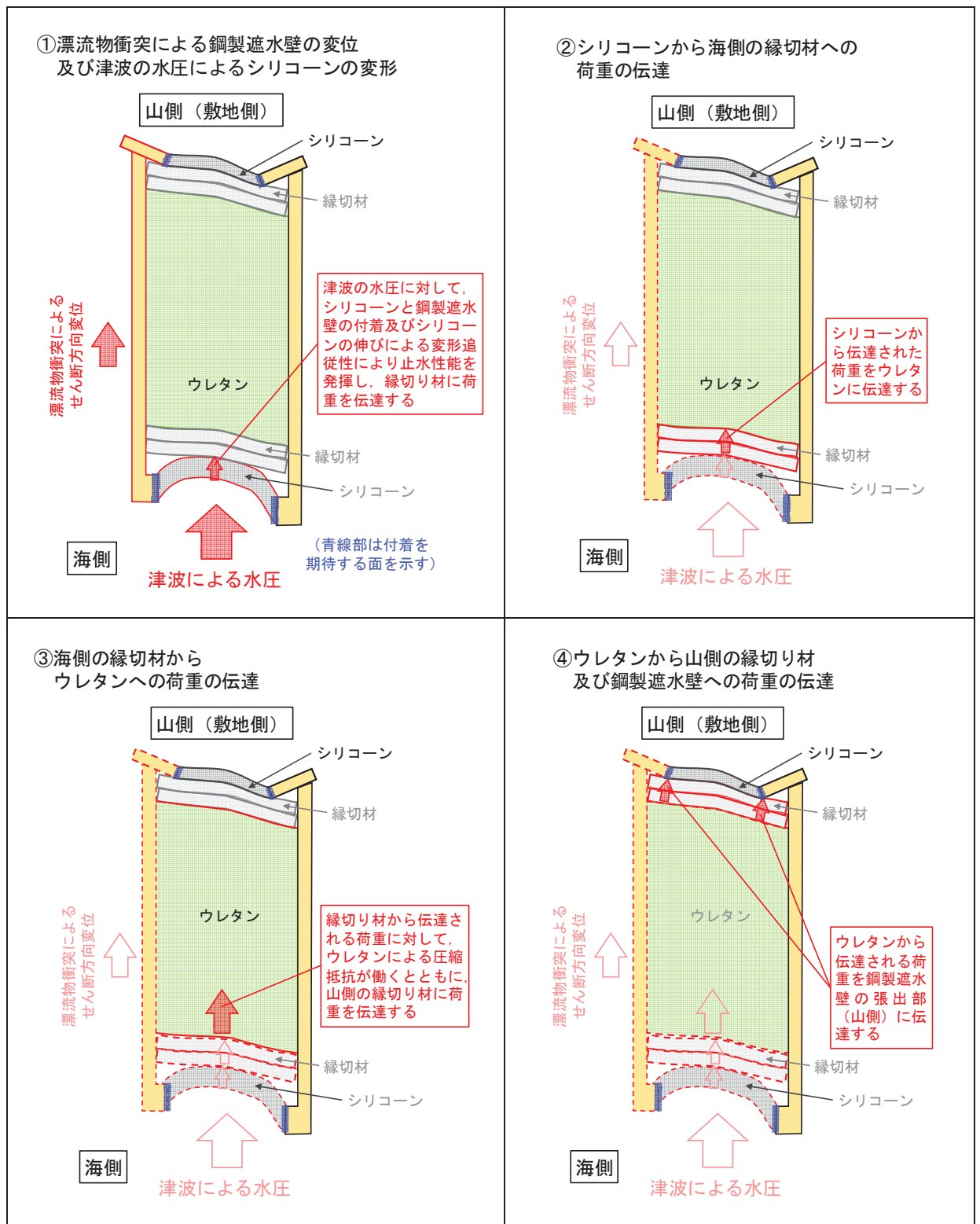


図 6.1.5-17(2) 津波時の荷重伝達

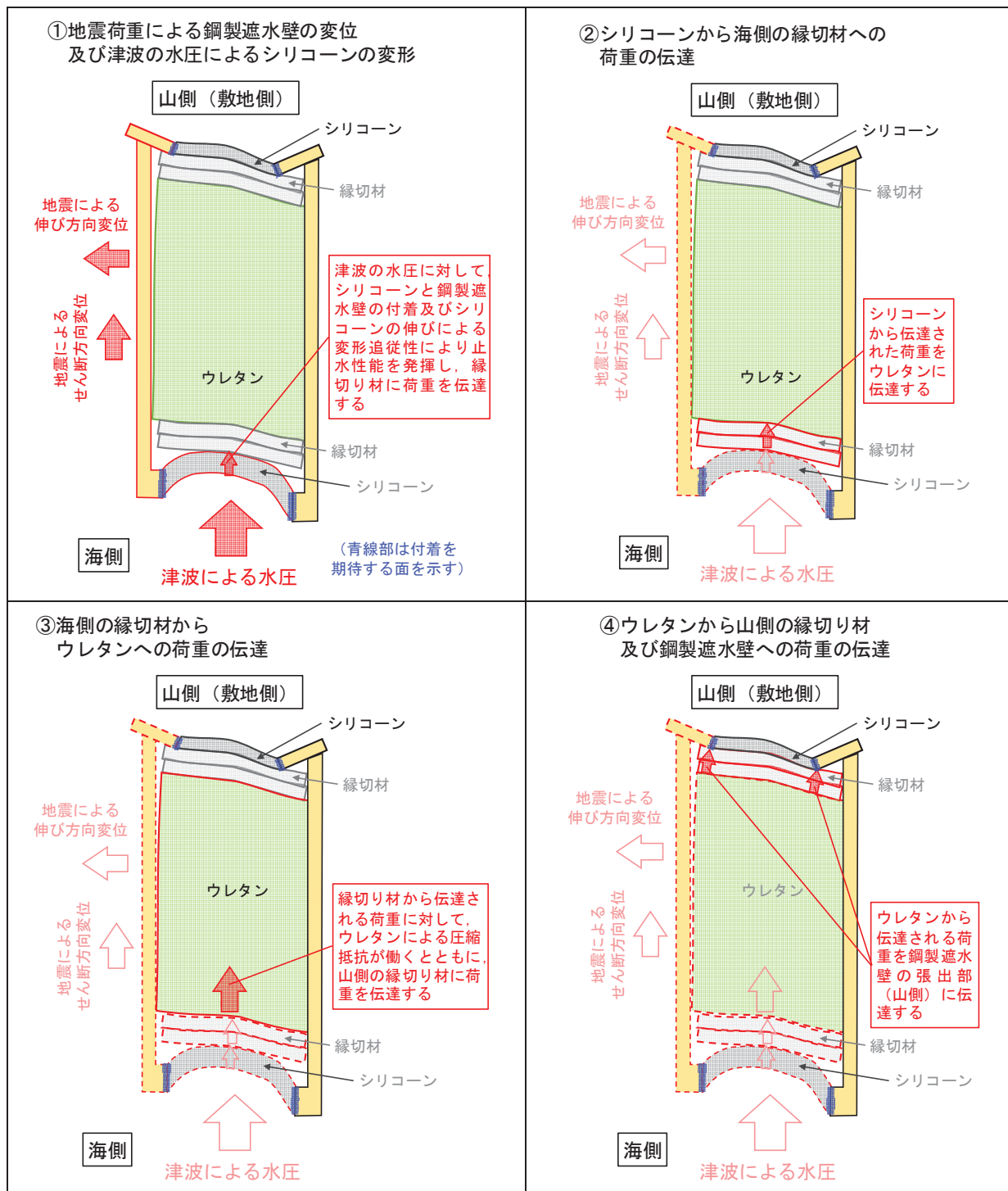


図 6.1.5-17(3) 重畳時の荷重伝達

上述の荷重伝達及び止水機能を発揮するメカニズムの整理結果を踏まえ、ウレタンシリコーン目地を構成する各部位の役割を表 6.1.5-10 のとおりとした。

表 6.1.5-10 ウレタンシリコーン目地の各部位の役割

構成部位	地震時	津波時	重畳時
シリコーン* (海側)	鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。	津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。
縁切材 (海側)	鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位をウレタンに伝達する。	シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる漂流物衝突に伴う変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部（海側）に生じる地震変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
ウレタン	縁切材（海側）から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗（耐圧縮性）を維持するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。	縁切材（海側）から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	縁切材（海側）から伝達される津波の荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材（山側）に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
縁切材 (山側(敷地側))	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。	ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部（山側）に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割を担う。
シリコーン* (山側(敷地側))	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。	鋼製遮水壁の張出部（山側）に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。

注記*：シリコーンはウレタン及び縁切材を覆っており、「4. 耐久性」に示すようにウレタン及び縁切材の主たる劣化要因である紫外線を遮断する役割も有している。

以上の検討，整理結果から，ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項を表 6.1.5-11 のとおり設定した。また，止水機能は，ウレタンシリコーン目地を構成する，シリコーン，ウレタン及び縁切材が，それぞれ直接的又は間接的に役割を担っているため，これらの構成される部位全体で止水機能（津波のバウンダリ）は発揮される。

表 6.1.5-11 ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項

要求機能	機能損傷モード	試験での着目点	試験での確認事項
変形 追従性	（作用する変位により）シリコーンが切れて変形追従性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。	変形試験から，シリコーンが切れていないことを確認する。
止水性	（作用する変位又は水圧により）シリコーンが切れて止水性を喪失する。	シリコーンが切れていないか。 ウレタンに割れが生じていないか。	耐圧試験から，シリコーンが切れていないことを確認する。 変形試験及び耐圧試験から，ウレタンが割れていないことを確認する。
	（作用する変位又は水圧により）シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれて止水性を喪失する。	シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか。	変形試験及び耐圧試験から，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認する。
	（作用する変位又は水圧により）鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れて止水性を喪失する。	鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れないか。	変形試験及び耐圧試験から，鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れていないことを確認する。

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

変形試験及び耐圧試験に用いる試験体は，ウレタンシリコーン目地の一部（高さ190mm）を模擬したものとする。図6.1.5-18に試験体のイメージを示す。

試験中には表6.1.5-11に示す確認事項を確認する必要があることから，試験体の上部と下部はシリコーンで覆わずに露出した状態とする。一方，実際の施工ではウレタン及び縁切材は，背面補強工天端から鋼製遮水壁天端までの施工範囲において露出しておらずシリコーンに覆われている（図6.1.5-15）ため，実際とは異なる状態での試験となる。このような状況を踏まえ，試験体の上部及び下部から20mmずつ内側の150mmの範囲を試験の適用範囲とする。

また，シリコーンを施工する面にプライマーを塗布することで，塗装の有無による付着強度の差はないため，試験体の鋼製遮水壁には塗装を施していない。なお，念のため鋼製遮水壁に塗装されている場合のシリコーンとの付着影響について確認を行った。

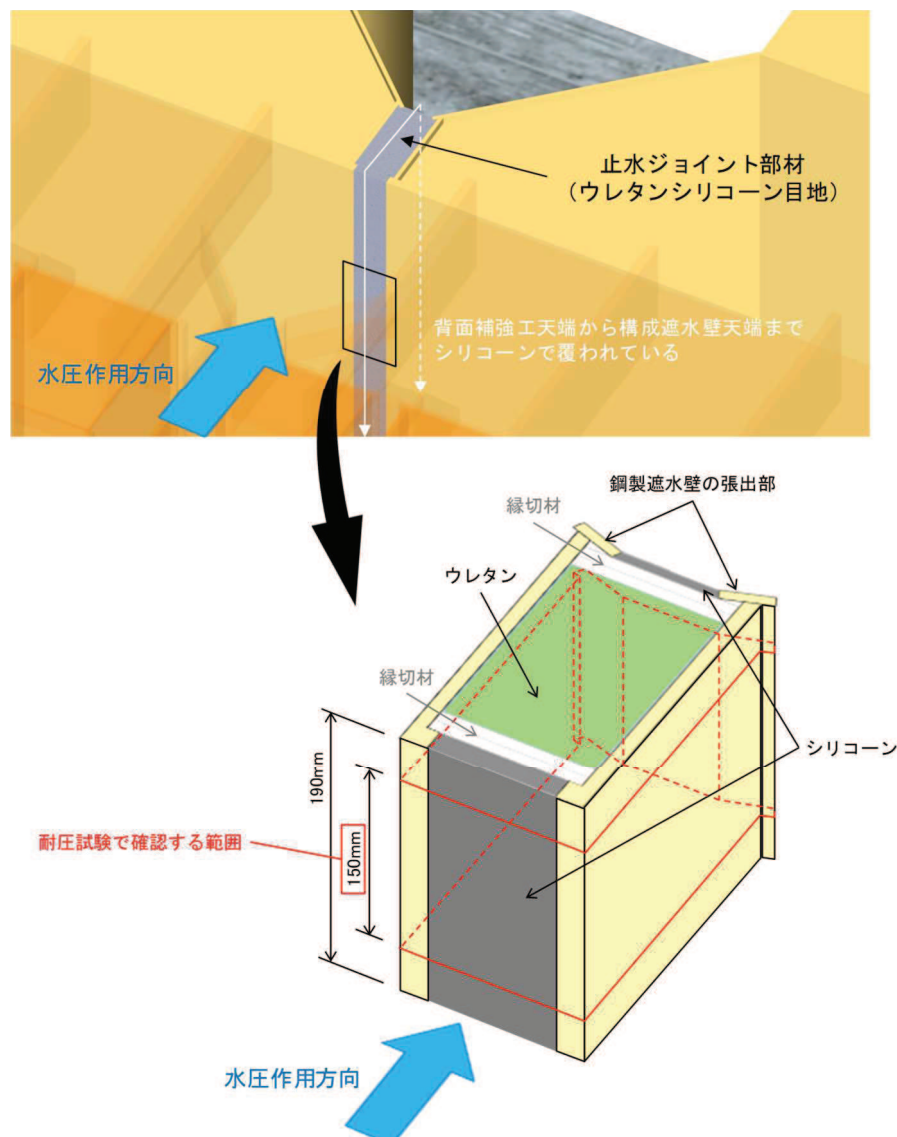


図 6.1.5-18 ウレタンシリコーン目地の試験体イメージ

試験条件として表 6.1.5-12 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

試験に用いる試験体は 2 体（No.9 及び No.10）とし，耐圧試験時に変形試験で用いた変形を保持させて実施した。

ウレタンシリコン目地の性能確認試験フローを図 6.1.5-19 に示す。また，変形試験及び耐圧試験のイメージを図 6.1.5-20 に示す。また，耐圧試験に用いる試験体の製作過程を図 6.1.5-21 に示す。

なお，これらの試験体とは別に，水圧を 0.34MPa（変位量は伸び 4mm，せん断 30mm）とした試験を 1 体の試験体で実施している。この試験の詳細については参考資料 1 に示す。

表 6.1.5-12 ウレタンシリコン目地の試験条件

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
No. 9	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm		
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上*
No. 10	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm		
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上*

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 30 分間とした。

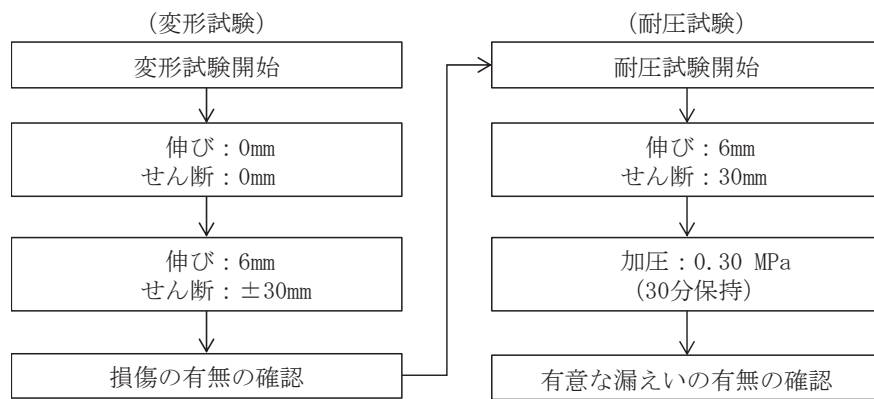
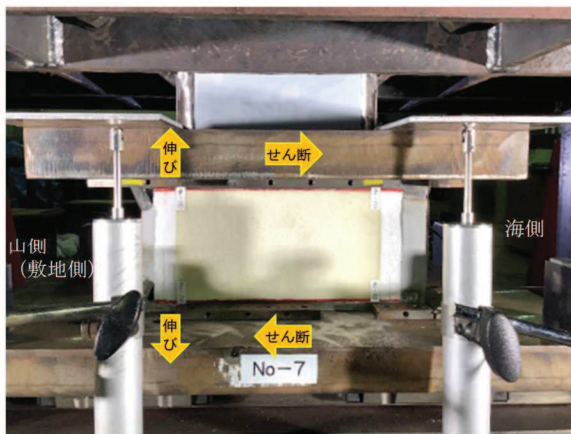


図 6.1.5-19 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー (No.9, No.10)



(変形試験)



(耐圧試験)

図 6.1.5-20 変形・耐圧試験のイメージ

	<p>【試験体の仮固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 変形試験後に変形状態を保持したまま耐圧容器に仮固定する。 ✓ 試験体内部にモルタルが侵入しないよう試験体周囲にテープ及びシートで養生する。 ✓ 加圧によって試験体がモルタルから抜け出さないように、鋼板（鋼製遮水壁）にスタッドを溶接する。 ✓ なお、山側（敷地側）の一部を耐圧容器から露出させ、試験中に内部の状況を確認する。
	<p>【試験体の固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 耐圧容器内にモルタルを充填させ、試験体を固定する。
	<p>【試験体の固定】 （耐圧容器を上から見た写真）</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 海側は注水して加圧を行うため海側のシリコーンは露出させておく。

図 6. 1. 5-21 (1) 耐圧試験体の製作過程

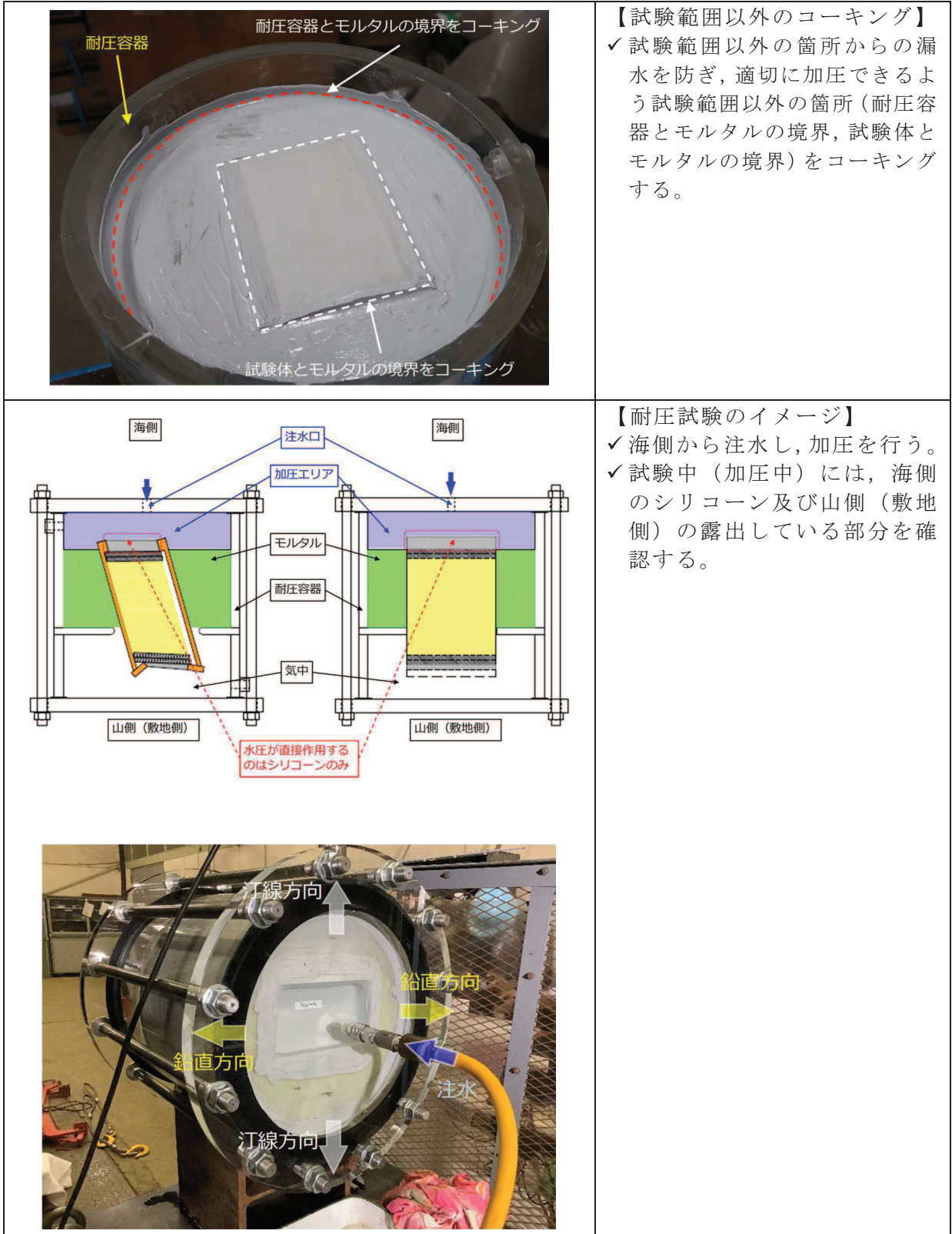


図 6.1.5-21(2) 耐圧試験体の製作過程

(2) 試験状況写真

変形・耐圧試験の全体状況を 図 6.1.5-22 に、変形・耐圧試験の状況を 図 6.1.5-23 に示す。

a. 設置状況確認（伸び 0mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



図 6.1.5-22(1) 変形試験全体状況



図 6.1.5-22(2) 耐圧試験全体状況

b. 変形試験状況確認

変形試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

なお、変形試験の状況を示す断面において、わずかに鋼製遮水壁からシリコンが剥がれているところがあるが、この断面は「2.2 (1) 試験条件 (試験変位量, 水圧)」で示したように、表 6.1.5-11 の確認事項を確認するために、露出した状態としているものであり、試験の適用範囲 (写真の奥側) では剥けていないことを確認している。

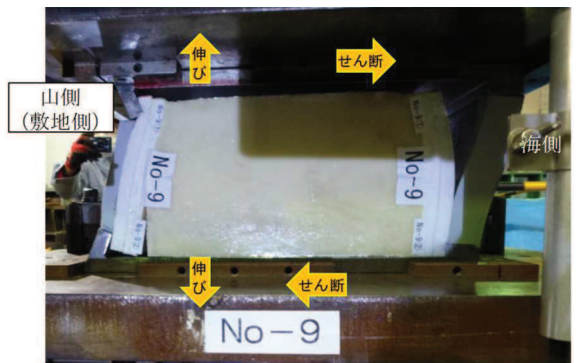
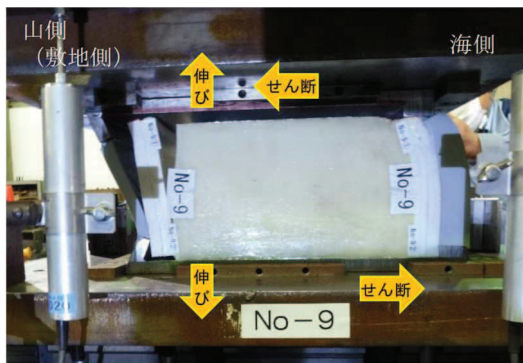


図 6.1.5-23 (1) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm)

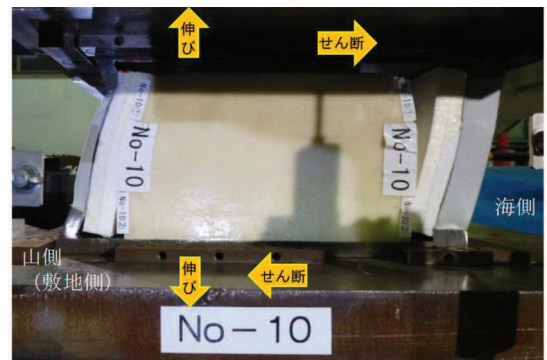
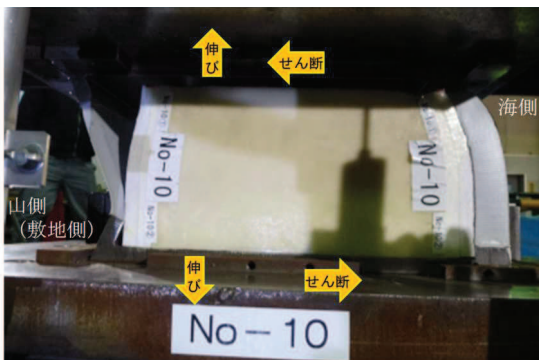
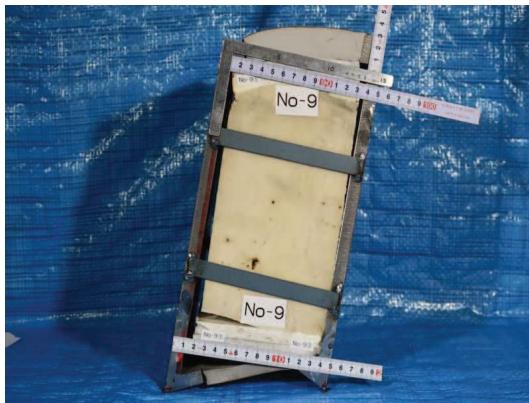


図 6.1.5-23 (2) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm)



(写真上方が津波作用側)



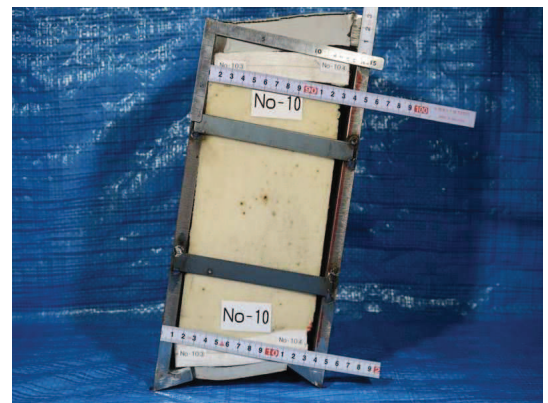
(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23 (3) ウレタンシリコン目地変形試験状況

(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)



(写真上方が津波作用側)

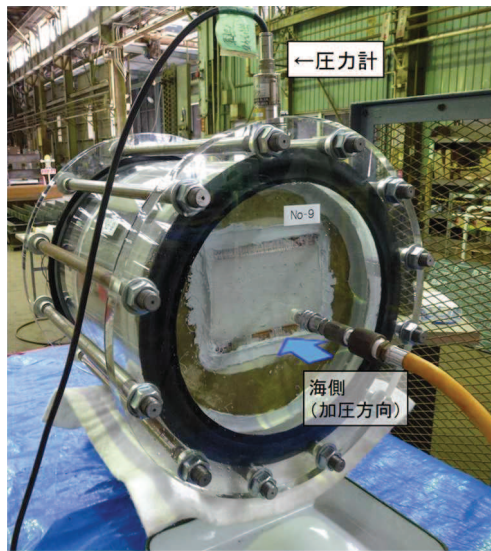


(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23 (4) ウレタンシリコン目地変形試験状況

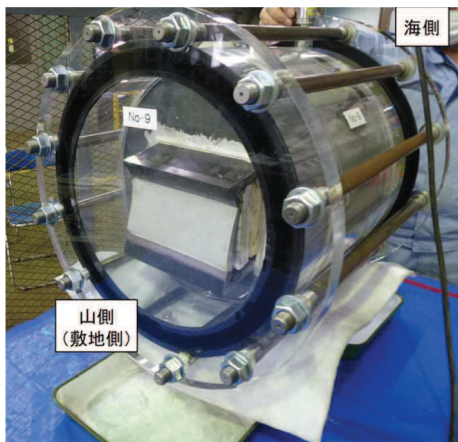
(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

c. 耐圧試験状況確認

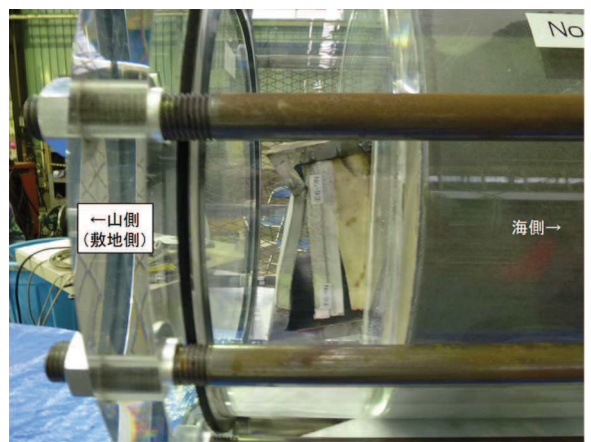


加圧前状況 (海側)

図 6.1.5-23 (5) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)

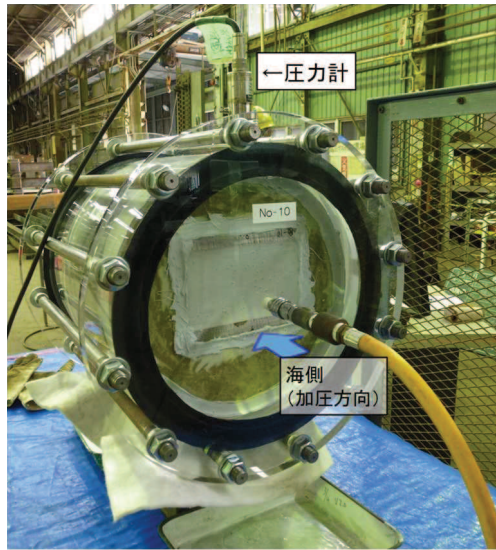


加圧前状況 (敷地側)



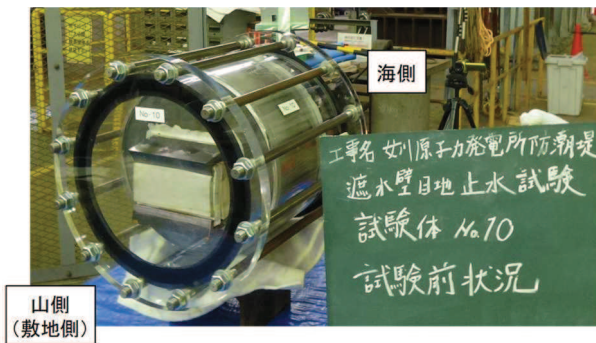
加圧前状況 (敷地側断面)

図 6.1.5-23 (6) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



加圧前状況（海側）

図 6.1.5-23(7) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）



加圧前状況（敷地側）



加圧前状況（敷地側断面）

図 6.1.5-23(8) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）

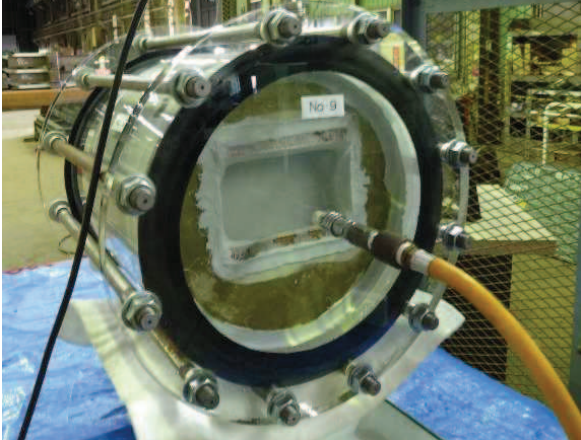
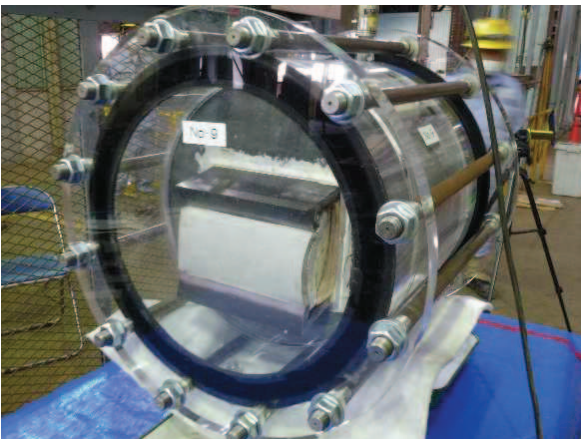

	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23 (9) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 9）
 （10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

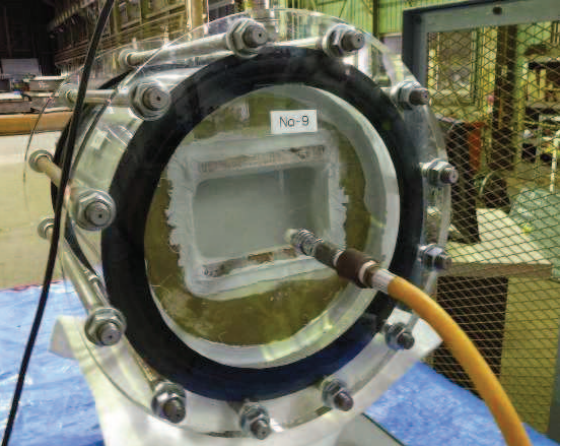
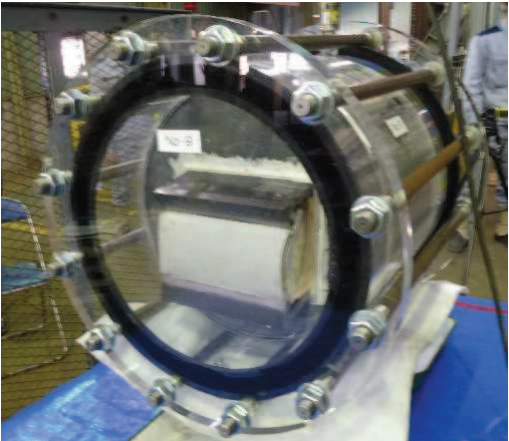
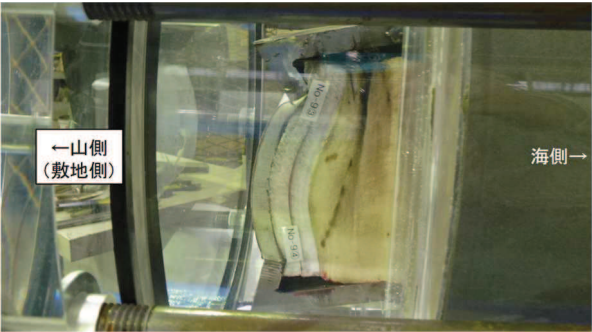
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(10) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 9）
 （20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）


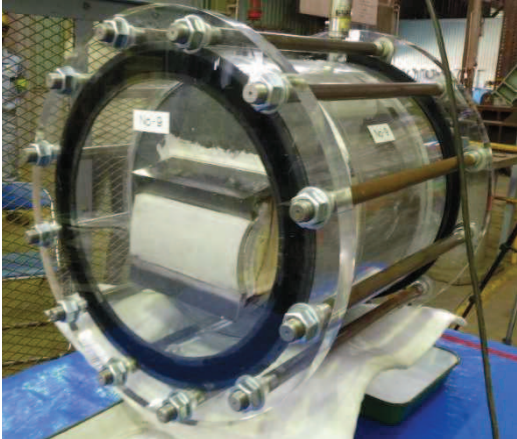
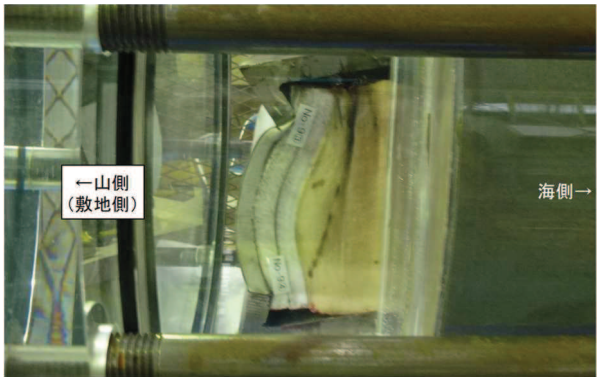
	<p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(11) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.9）

（30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）


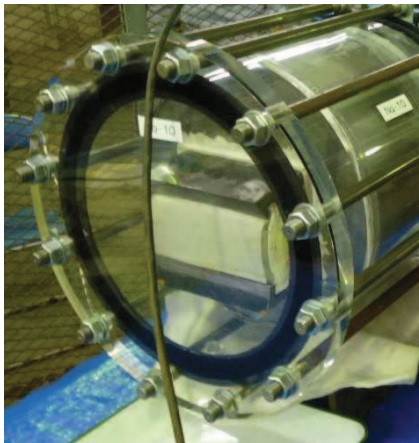
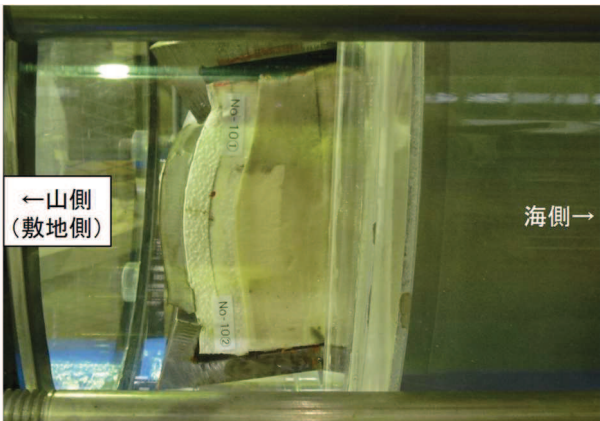
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23(12) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 10）
 （10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

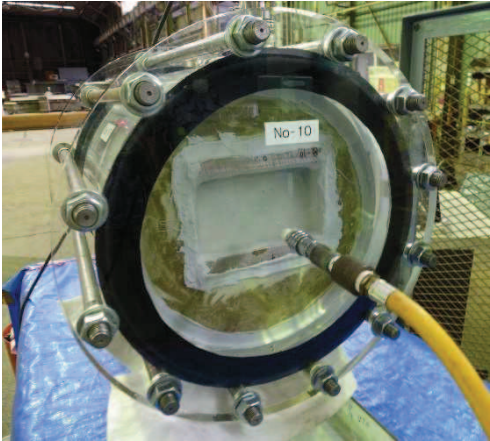
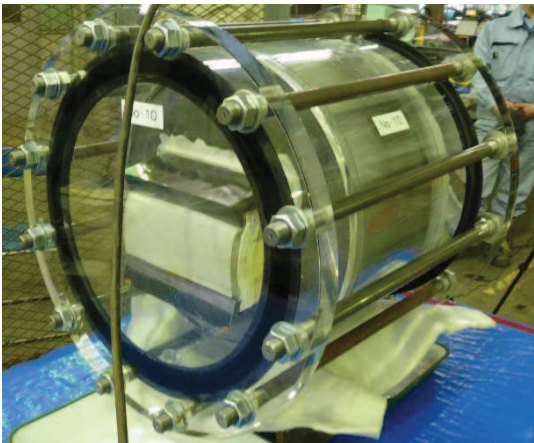
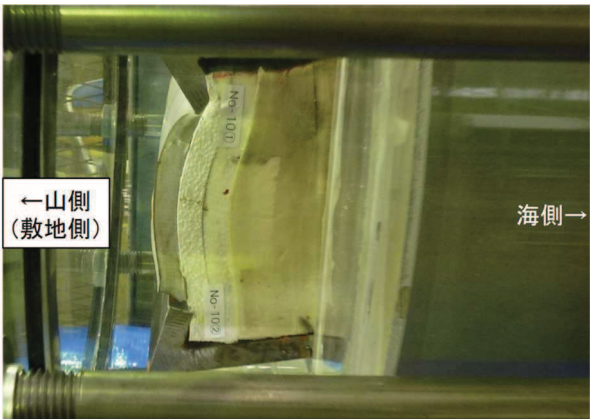
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図 6.1.5-23 (13) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 10）
 （20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

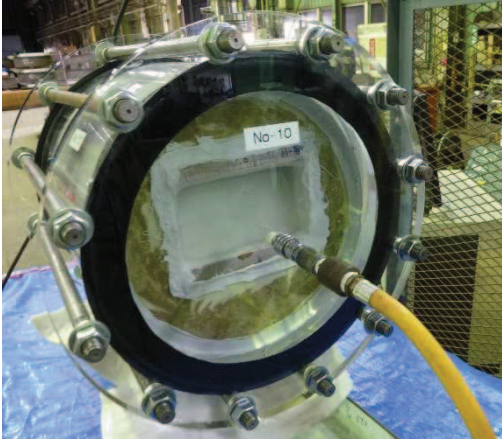

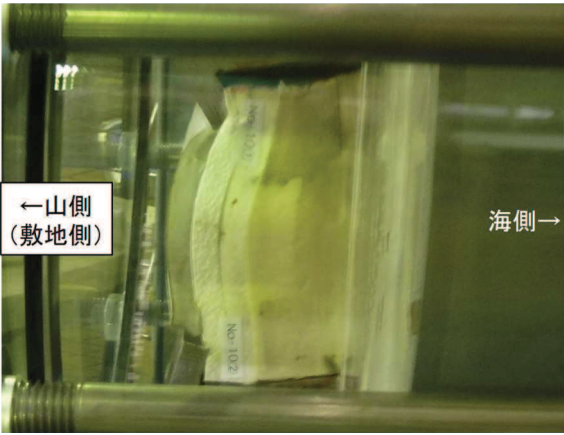
	<p>30 分間保持後（海側） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>
	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面） ✓ 損傷及び漏えい無し</p>

図 6. 1. 5-23 (14) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 10）
（30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0. 30MPa）

(3) 試験結果

試験体 No. 9 及び No. 10 について、所定の変位（伸び 6mm，せん断 30mm）を与えた上で、津波による波圧を上回る水圧 0.30MPa を 10 分以上（加圧時間：30 分間）加圧した結果、損傷及び漏えいが無いことを確認した。

試験結果を表 6.1.5-13 に示す。

また、これらの試験結果に対する考察を表 6.15-14 のとおり整理した。この考察から、ウレタンシリコーン目地に生じる変位量及び水圧は、変形試験及び耐圧試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び水圧（0.30MPa）以下とする必要がある。

表 6.1.5-13 ウレタンシリコーン目地の試験結果

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	耐圧 保持時間	損傷*， 漏えい	判定
No. 9	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm			無し	OK
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上	無し	OK
No. 10	変形試験	伸び 6mm せん断 30mm			無し	OK
	耐圧試験	伸び 6mm せん断 30mm	0.30MPa	10 分以上	無し	OK

注記*：表 6.1.5-11 に基づき、シリコーンが切れていないか、シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか、ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れていないか、ウレタンが割れていないかを確認する。

表 6.1.5-14 ウレタンシリコーン目地の試験結果に対する考察 (No.9 及び No.10)

要求機能	試験での確認結果	考察
変形追従性	変形試験から、シリコーンは切れていないことを確認した。	変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。
止水性	<p>耐圧試験から，シリコーンは切れていないことを確認した。</p> <p>変形試験及び耐圧試験から，ウレタンが割れていないことを確認した。</p>	<p>耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲以内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。</p> <p>また，変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，ウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタンは割れなかったと判断される。</p>
	変形試験及び耐圧試験から，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認した。	変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，シリコーンと鋼製遮水壁の付着力以下であったことから，シリコーンは鋼製遮水壁から剥がれなかったと判断される。
	変形試験及び耐圧試験から，鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れていないことを確認した。	<p>変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）は，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れる変位量以下であったことから，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p> <p>また，耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）はウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p>

(4) 鋼製遮水壁とシリコーン材の付着について

先に示したように、シリコーン材を施工する面（鋼製遮水壁）にプライマーを塗布することで、塗装の有無等による付着強度の差はないと考えているが、図 6.1.5-15 のとおり、ウレタンシリコーン目地で付着を期待している面としては、鋼製遮水壁とシリコーン材の境界のみであることを踏まえ、念のため、シリコーン材を施工する面（鋼製遮水壁）が塗装されている場合の影響について確認する。

実際の施工では、鋼製遮水壁は超厚膜塗装（ $2300\mu\text{m}$ ）とその表層にフッ素樹脂塗装（塗装仕様の詳細については参考資料 2 に示す。）が施されており、この塗装面にプライマーを塗布し、シリコーン材を施工する。そのため、各境界となる面の付着力を図 6.1.5-24 のフローに従い確認する。

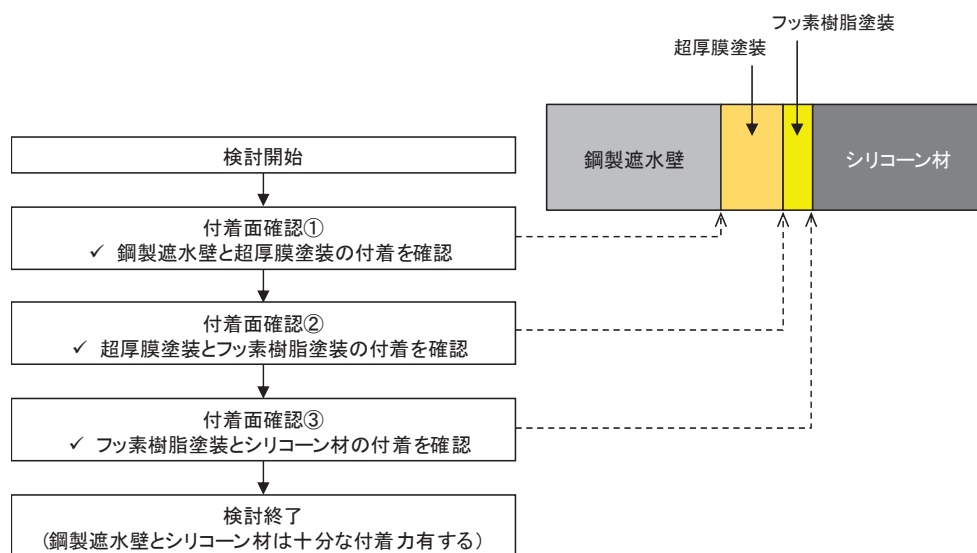


図 6.1.5-24 鋼製遮水壁とシリコーン材の付着力確認フロー

a. 付着面確認①（鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着）

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着に関して、上記超厚膜塗装と同様の仕様の曝露試験結果が「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告）、No.1324、港湾空港技術研究所資料、2016」にて報告されており、経過年数 29 年でも付着強度が 2.5～4.5 (MPa) 有することが示されている（参考資料 2）。このことから、鋼製遮水壁と塗装は、津波荷重から設定した試験水圧（0.3MPa）よりもはるかに高い圧力に耐えられることを確認した。

b. 付着面確認②（超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着）

超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着に関して、図 6.1.5-25 に示すような 4 種類の塗装断面（超厚膜 1 層、超厚膜 2 層、中塗り（フッ素樹脂塗装）、上塗り（フッ素樹脂塗装）を対象に、付着試験（アドヒージョンテスト）を行い、塗膜の付着力を確認した（最も弱い箇所で剥離させ、その時の強度を測定）。

その結果を表 6.1.5-15 に示す。すべての供試体でドーリー剥離箇所は「接着剤」との結果であることから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界等の塗膜層間では剥離せず、ドーリーと塗装の境界（接着剤）が最も付着力が低いことを確認した。また、その際の最低付着力（アドヒージョン）は 1.8 (MPa) であり、耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上であることを確認した。

このことから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界に耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上の引張力が発生したとしても、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界で剥れることがないことを確認した。

試験方法は以下のとおりである。

【試験方法】

- ① 測定位置の塗膜表面をウエス等で清掃した後、サンドペーパーで軽く研磨して清浄な状態にする。
- ② 接着剤をドーリー（端子）に塗り、塗膜表面にドーリーを押しつけるように貼り付ける。
- ③ 接着剤が固化した後、ドーリー周辺に沿って、塗膜をカッターなどで素地に達するまで傷を入れる。
- ④ アドヒージョンテストでドーリーを引き剥がし、強度を測定する。

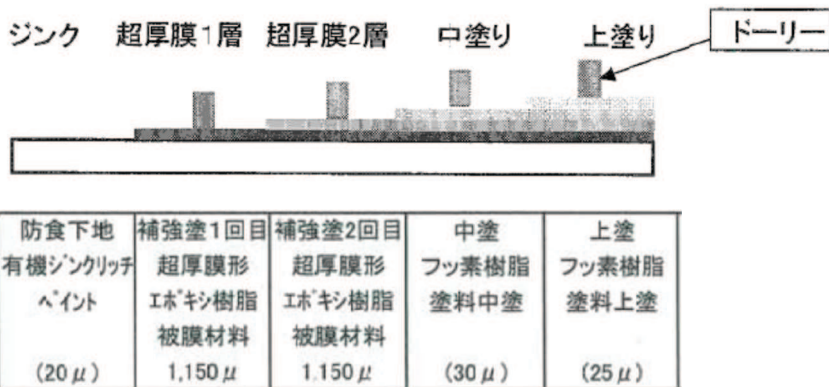


図 6.1.5-25 付着試験を実施した塗装断面

表 6.1.5-15 塗装付着試験（アドヒージョンテスト）

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ①	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	3.7 Mpa	4.8 Mpa	2.9 Mpa	2.7 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	70	67	63	62
表面温度	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ②	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	1.7 Mpa	2.0 Mpa	— Mpa	2.2 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	—	接着剤
硬度	70	68	65	64
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-4 ③	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	8.0 Mpa	3.0 Mpa	4.3 Mpa	4.5 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤
硬度	68	72	64	67
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ①	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	3.0 Mpa	2.0 Mpa	— Mpa	2.6 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤	接着剤	—	接着剤
硬度	69	65	61.5	61
表面温度	18 °C	18 °C	18 °C	18 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ②	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	5.1 Mpa	2.5 Mpa	2.4 Mpa	1.8 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	66	64	56	58
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

試験体NO.	アドヒージョンテスト部位			
3-25 ③	超厚膜1層	超厚膜2層	中塗り	上塗り
アドヒージョン	5.0 Mpa	4.0 Mpa	1.9 Mpa	2.8 Mpa
ドリー剥离箇所 (規格値1.5Mpa以上)	接着剤+塗膜	接着剤	接着剤	接着剤
硬度	73	63	60	64
表面温度	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C	16.8 °C

c. 付着面確認③（フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着）

フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の付着について、メーカーにてフッ素樹脂塗装面にシリコーン材を施工した場合の接着性（付着性）の試験で実施されている。

試験体を図 6.1.5-26 に示す。表 6.1.5-16 に示す塗料に対して、引張接着性試験（H 型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を実施した結果を表 6.1.5-17 及び図 6.1.5-27 に示す。

なお、試験に用いられたプライマー（トスプライムニューF）は、「(1) 試験条件（試験変位量，水圧）」～「(3) 試験結果」で実施した試験で鋼材（無塗装の鋼製遮水壁を模擬）とシリコーン材の境界に塗布されたものと同じものである。

表 6.1.5-17 及び図 6.1.5-27 の試験結果から、塗装の色及び膜厚の違いによらず、いずれの条件下においてもフッ素樹脂塗装面とシリコーンの境界では剥れず、シリコーン材による破壊（表 6.1.5-17 の CF：凝集破壊）が引張応力 0.38（MPa）以上で生じる結果となった。

このことから、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界に耐圧試験の水圧 0.3（MPa）以上の 0.38（MPa）の引張力が発生したとしても、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界で剥れることがないことを確認した。

表 6.1.5-16 接着試験の塗装種類

塗料種類
フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-1
フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-2
フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-1
フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-2

注記*：鋼製遮水壁の超厚膜塗装の中塗，上塗にはフッ素樹脂塗料を用いているため，試験条件としては同じである。

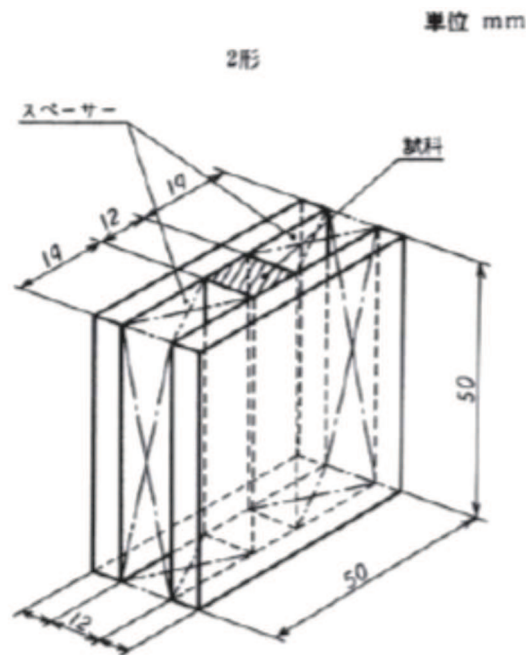


図 6.1.5-26 試験体

(JIS A 1439「建築用シーリング材の試験方法」に準拠して作製)

表 6.1.5-17 接着試験の塗装種類

シーリング材	プライマー	被着体	バフ掛け	養生条件	試験体	M50 MPa	Tmax MPa	E %	CF %	TCF %	AF %	
トスシール361	トスプライム ニューF	20 μ ホワイト-1	無し	標準	1	0.18	0.50	1010	100	0	0	
					2	0.17	0.50	980	100	0	0	
					3	0.18	0.45	860	100	0	0	
				平均	0.18	0.49	950					
				温水	1	0.17	0.58	1150	100	0	0	
					2	0.17	0.64	1190	100	0	0	
			3		0.17	0.55	1060	100	0	0		
			平均	0.17	0.59	1130						
			有り	標準	1	0.18	0.49	950	100	0	0	
					2	0.17	0.40	780	100	0	0	
					3	0.18	0.49	900	100	0	0	
				平均	0.18	0.46	870					
		温水		1	0.18	0.50	970	100	0	0		
				2	0.17	0.48	1070	100	0	0		
			3	0.18	0.56	1080	100	0	0			
		平均	0.18	0.51	1040							
		20 μ ホワイト-2	無し	標準	1	0.18	0.54	1030	100	0	0	
					2	0.17	0.46	940	100	0	0	
					3	0.18	0.49	940	100	0	0	
				平均	0.18	0.50	970					
				温水	1	0.16	0.45	1040	100	0	0	
					2	0.16	0.49	1110	100	0	0	
			3		0.16	0.57	1220	100	0	0		
			平均	0.16	0.50	1120						
			有り	標準	1	0.17	0.43	870	100	0	0	
					2	0.19	0.56	1000	100	0	0	
					3	0.18	0.44	900	100	0	0	
				平均	0.18	0.48	920					
		温水		1	0.16	0.49	1090	100	0	0		
				2	0.17	0.50	1090	100	0	0		
			3	0.16	0.57	1210	100	0	0			
		平均	0.16	0.52	1130							
		40 μ メタリック-1	無し	標準	4	0.17	0.42	770	100	0	0	
					5	0.19	0.49	890	100	0	0	
					6	0.17	0.49	1010	100	0	0	
				平均	0.18	0.46	890					
				温水	4	0.17	0.49	990	100	0	0	
					5	0.18	0.41	850	100	0	0	
					6	0.18	0.47	970	100	0	0	
				平均	0.18	0.45	940					
				有り	標準	4	0.19	0.41	730	100	0	0
						5	0.17	0.44	920	100	0	0
						6	0.19	0.54	1030	100	0	0
					平均	0.18	0.46	890				
			温水		4	0.17	0.47	960	100	0	0	
					5	0.18	0.46	900	100	0	0	
				6	0.18	0.47	960	100	0	0		
			平均	0.18	0.46	940						
40 μ メタリック-2	無し		標準	7	0.18	0.62	1080	100	0	0		
				8	0.17	0.45	1020	100	0	0		
				9	0.17	0.47	950	100	0	0		
			平均	0.17	0.51	1020						
			温水	7	0.16	0.38	900	100	0	0		
				8	0.18	0.47	1010	100	0	0		
	9			0.16	0.37	900	100	0	0			
	平均		0.17	0.41	940							
	有り	標準	7	0.17	0.46	960	100	0	0			
			8	0.18	0.45	880	100	0	0			
			9	0.18	0.51	950	100	0	0			
		平均	0.18	0.47	930							
温水		7	0.18	0.39	840	100	0	0				
		8	0.17	0.47	980	100	0	0				
	9	0.18	0.40	860	100	0	0					
平均	0.18	0.42	890									

(表中のCFは凝集破壊(シーリング材の破壊状態の1つでシーリング材自身の破壊), TCFは薄層凝集破壊(シーリング材の破壊状態の1つで被着面にごく薄くシーリング材が残る破壊), AFは接着破壊(シーリング材の破壊状態の1つで被着体とシーリング材の分離)を示す。)

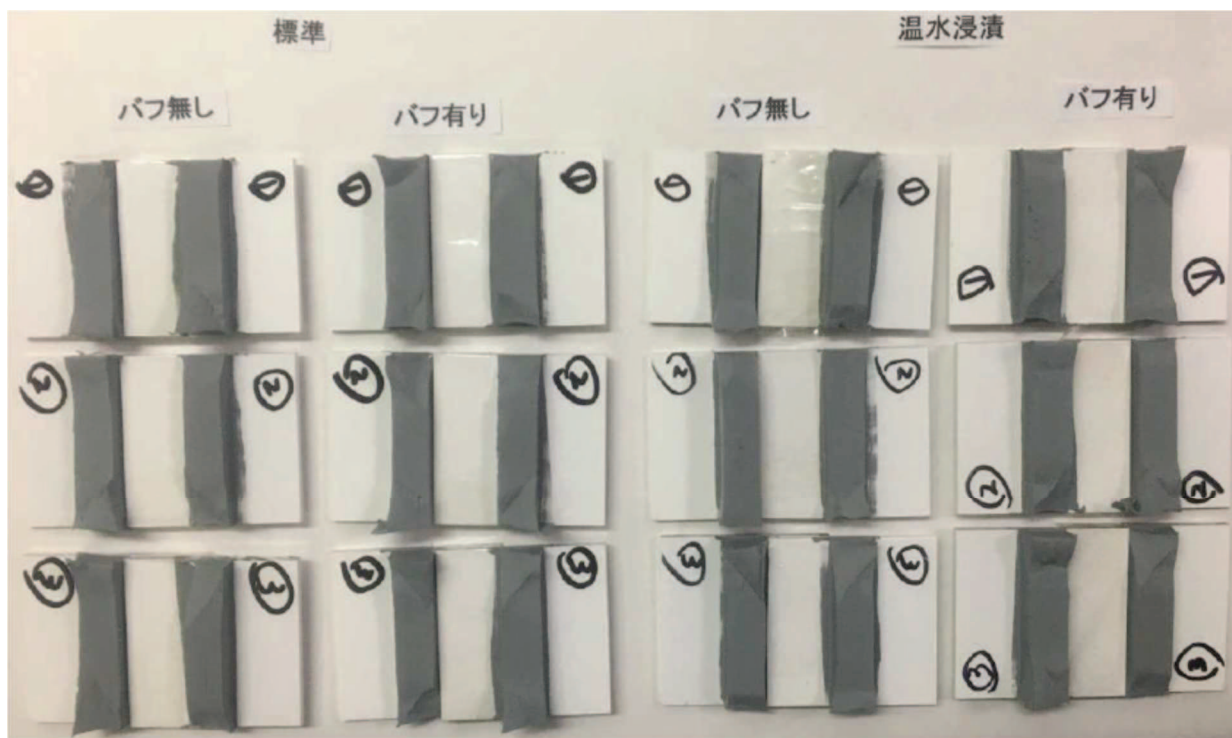


図 6.1.5-27 (1) 接着性（付着性）試験結果（20 μm ホワイト色-1）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

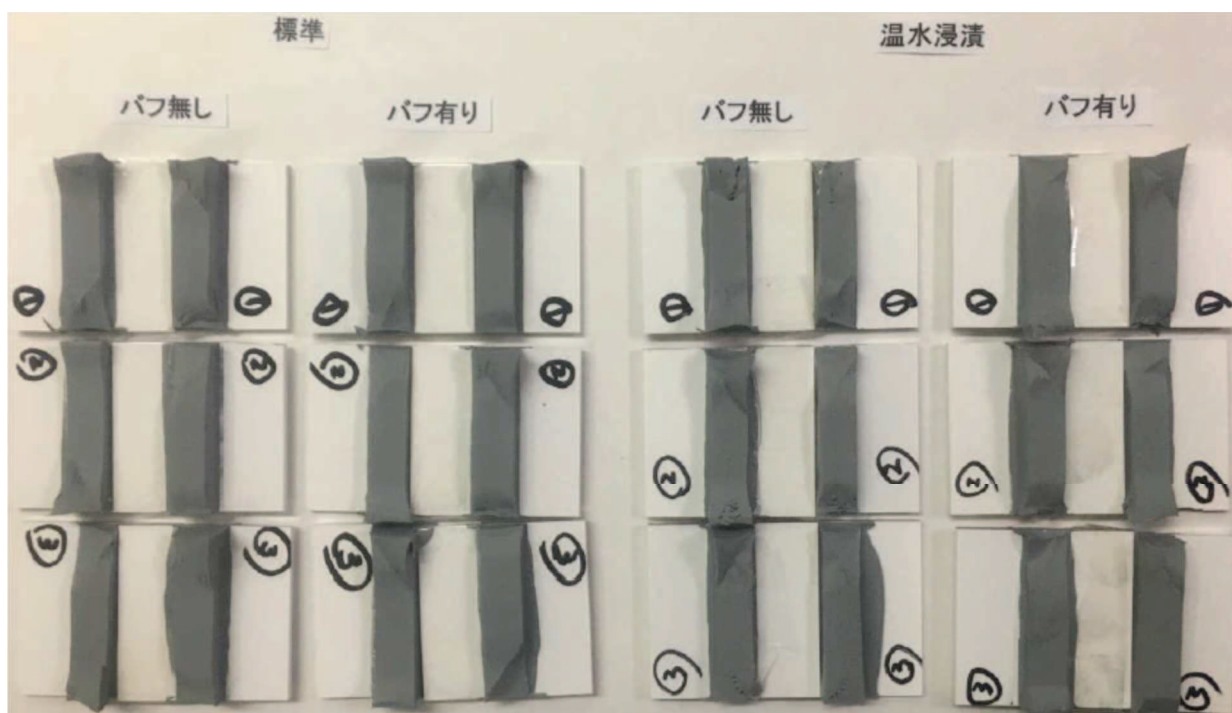


図 6.1.5-27 (2) 接着性（付着性）試験結果（20 μm ホワイト色-2）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

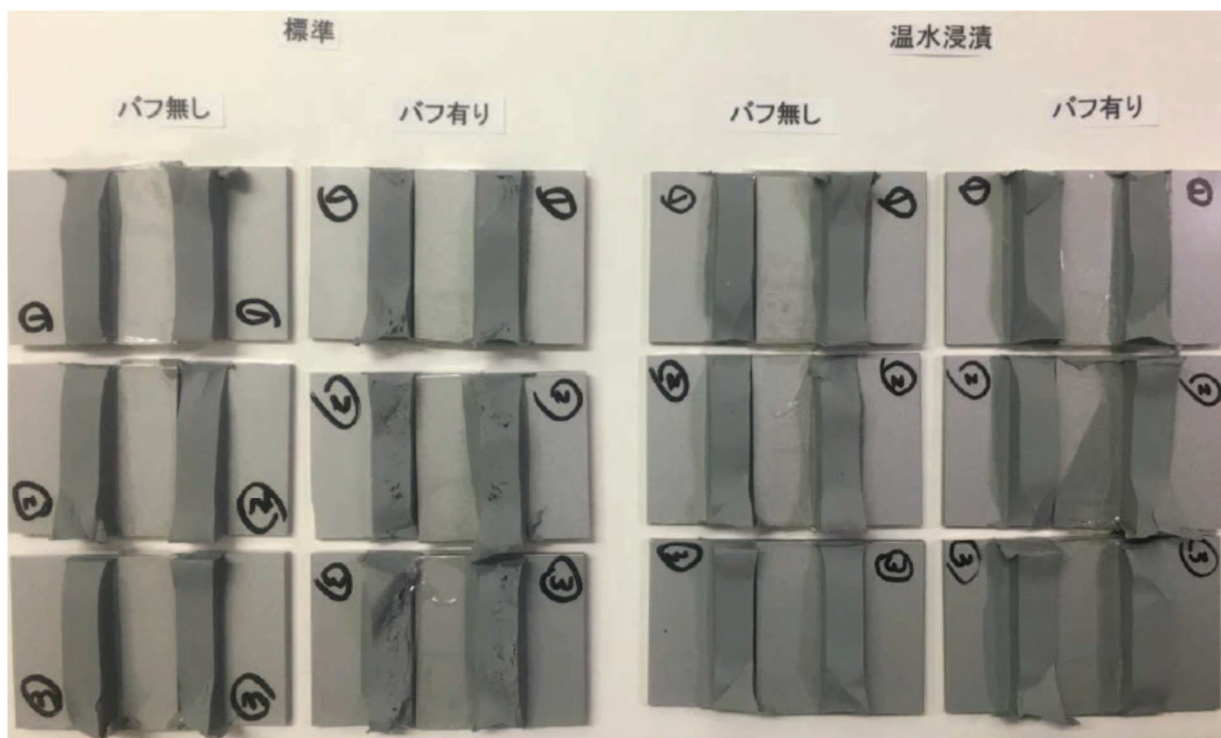


図 6.1.5-27(3) 接着性（付着性）試験結果（40 μm メタリック色-1）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

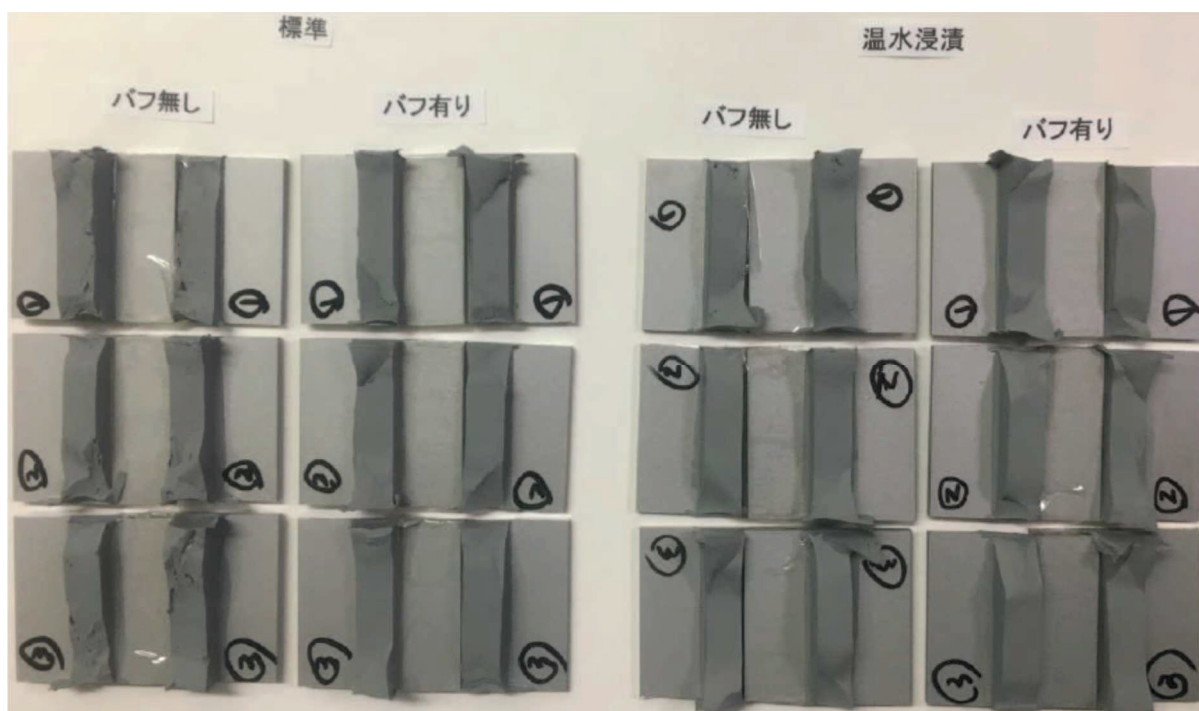


図 6.1.5-27(4) 接着性（付着性）試験結果（40 μm メタリック色-1）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

d. まとめ

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着力は 2.5 (MPa) 以上, 超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着力は 1.8 (MPa) 以上, フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着力は 0.38 (MPa) 以上であり, いずれも耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上である。また, フッ素樹脂塗装とシリコーン材の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

以上のことから, 超厚膜塗装及びフッ素樹脂塗装が施された鋼製遮水壁にシリコーン材を施工し, シリコーン材に引張力が作用した場合, 「鋼製遮水壁と超厚膜塗装」, 「超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装」, 「フッ素樹脂塗装とシリコーン材」の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

(1)～(3)で実施した試験結果からも, 耐圧試験ではシリコーン材は健全を維持し, 鋼材(無塗装の鋼製遮水壁を模擬)とシリコーン材で剥れることもないことから, シリコーン材を施工する面にプライマーを塗布することで, シリコーン材を施工する境界は十分な付着性を有することを確認した。

3. 許容限界の設定

止水ジョイント部材の変位量の許容限界は、「2. 性能確認試験」を踏まえ、ゴムジョイントとウレタンシリコーン目地でそれぞれ定める。

表 6.1.5-18 に止水ジョイント部材の変位量の許容限界を示す。

表 6.1.5-18 止水ジョイント部材の許容限界（変位量）

評価項目	許容限界	備考
ゴムジョイント	伸び：150 mm せん断：350 mm	試験水圧：0.40MPa
ウレタンシリコーン目地	伸び：6 mm せん断：30 mm	試験水圧：0.30MPa

4. 耐久性

止水ジョイント部材の耐久性能について評価する。

4.1 評価項目

ゴムジョイントについては、ゴムの耐久性能に関する評価項目として、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。

一方、ウレタンシリコーン目地は、シリコーン、ウレタン及びウレタンの型枠としての縁切材で構成されており、ウレタン及び縁切材はシリコーンで覆われているため外部環境と接していないが、シリコーンは外部環境と接している、という特徴がある（図 6.1.5-19）。外部環境と接しているシリコーンについては、一般的に塩害を含む耐久性に優れた材料であり、劣化の恐れがある物質としては、濃硫酸（ H_2SO_4 ）やフッ化水素酸（HF）が挙げられるが、これらは自然界にはない。ただし、上記ゴムジョイントと同様にウレタンを含め、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。また、**ウレタン**については、「2.2 ウレタンシリコーン目地」で整理したとおり、要求機能にシリコーンのような変形追従性はないため、低温環境下で硬化することの影響評価は不要である。

止水ジョイント部材の評価項目を表 6.1.5-19 に示す。**なお、縁切材（ポリエチレン製）は止水機能に対して間接的な役割を担っているものの、汎用品であり、ウレタンを施工するための型枠としてウレタンシリコーン目地内に入れたものであること、上記のとおりシリコーンで覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響がないことを踏まえ、使用実績を確認することとする。**

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

熱によって老化（酸化・分解）が促進されることに抵抗する性質。

(2) 耐寒性

低温環境下にさらされ、硬化することによって弾性が失われることに抵抗する性質。なお、耐寒性については、温度が上がれば機能が回復するという点で、耐熱性（耐熱老化性）とは性質が異なる。

(3) 耐候性

屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用に抵抗する性質。

表 6.1.5-19 止水ジョイント部材の評価項目（耐久性）

止水ジョイント部材		耐熱性（耐熱老化性）	耐寒性	耐候性
ゴムジョイント		○	○	○
ウレタン	シリコーン	○	○	○
シリコーン目地	ウレタン	○	— *1	— *2

注記*1：ウレタンは変形追従性の要求機能がないため，耐寒性の評価不要である。

*2：ウレタンはシリコーンで覆われているため耐候性の評価は不要である。

4.2 ゴムジョイントの評価結果

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムについて、メーカーにて熱老化試験が実施されている。熱老化試験では、70℃、100℃、120℃の3種類の異なる加熱温度下において、加熱前に切断時伸び480%のゴムが、ゴム伸び残存率50%に相当する切断時伸び240%に至るまで、気中において加熱を与え続けた試験を実施している。ここで、ゴム伸び残存率は、経年劣化後の切断時伸びを初期の切断時伸びで除した値と定義される劣化指標で、ゴム伸び残存率50%となる時間をもとに予測寿命が算定される。図6.1.5-27に熱老化試験結果を示す。

熱老化試験結果をもとに、ゴム伸び残存率が50%、60%、70%、80%及び90%となる時間と温度の関係をグラフ化したものを図6.1.5-28に示す。図6.1.5-28により温度20℃、30℃及び40℃におけるゴム伸び残存率と時間の値を読み取り、作成した時間－ゴム伸び残存率の推定線を図6.1.5-29に示す。

なお、図6.1.5-29にはメーカーにて調査された実際に長時間使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率をプロットしているが、ほぼ推定線上に散布しており調和的である。気中下にて約46年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は50%以上であることが確認されている。

女川地点における月平均気温は、図6.1.5-30に示すように通年で約2～23℃の範囲で変化し、年平均気温は約13℃である。ゴムジョイント使用環境の気温を20℃とすると、図6.1.5-29よりゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は127年と推定される。

なお、女川地点における月平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に8月であり、保守的にゴムジョイント使用環境の気温を30℃として評価しても、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は38年と推定され、十分な耐熱性を有している。

長期にわたり供用されたクロロプレンゴムの耐久性について調査された事例は少ないが、宇佐美ら（1981*¹、1982*²）は約17年間使用された鉄道橋梁の支承に用いられたクロロプレンゴムは、列車通過に起因する大きな荷重を受けている点で、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に用いられるクロロプレンゴムよりも厳しい条件下で使用されたにもかかわらず、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は85年以上と推定されており、クロロプレンゴムは十分な耐久性能を有していることを示している。

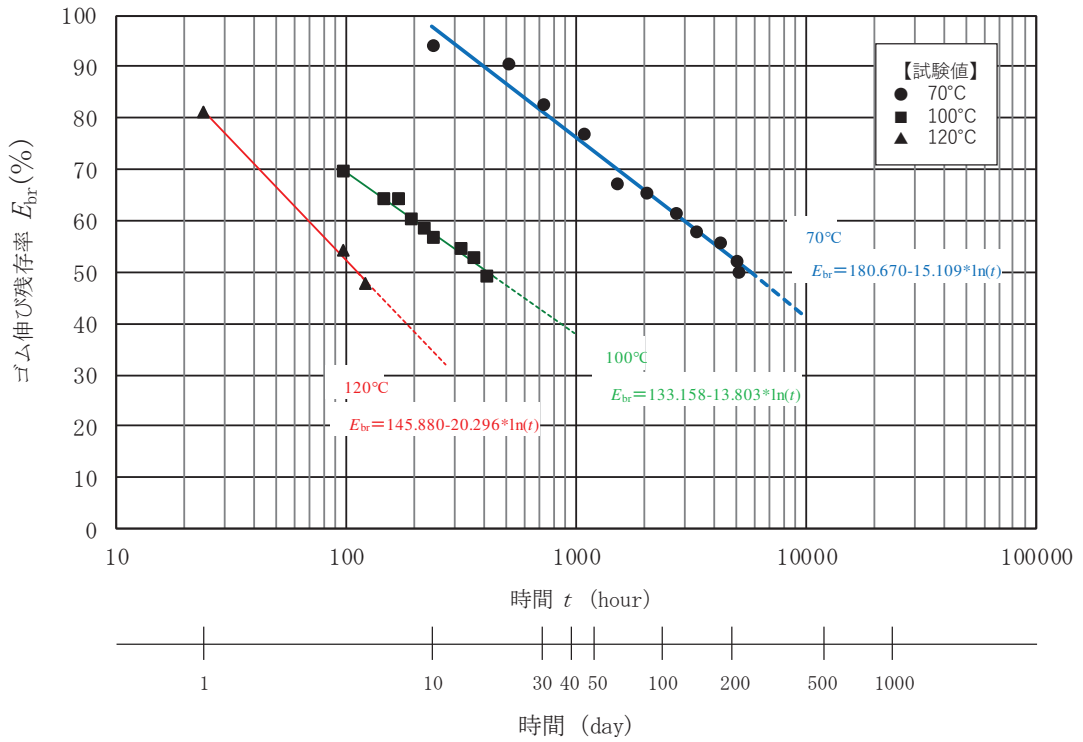


図 6.1.5-28 ゴム材料の熱老化試験結果

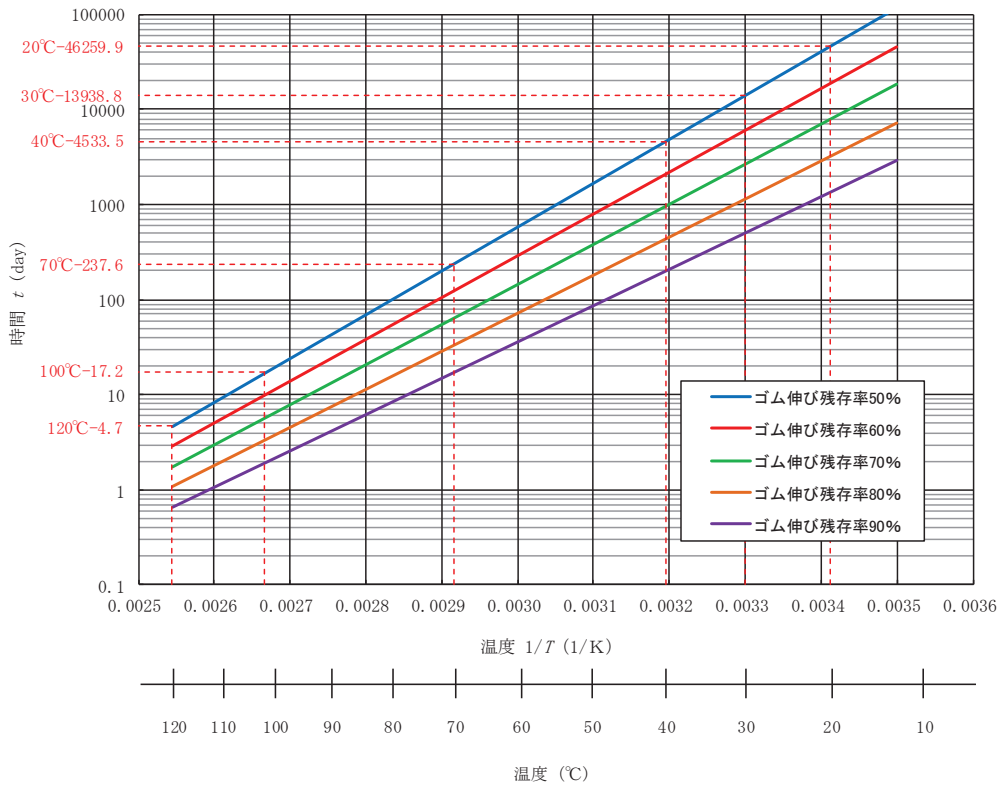


図 6.1.5-29 ゴム材料の残存率に応じた温度と日数の関係

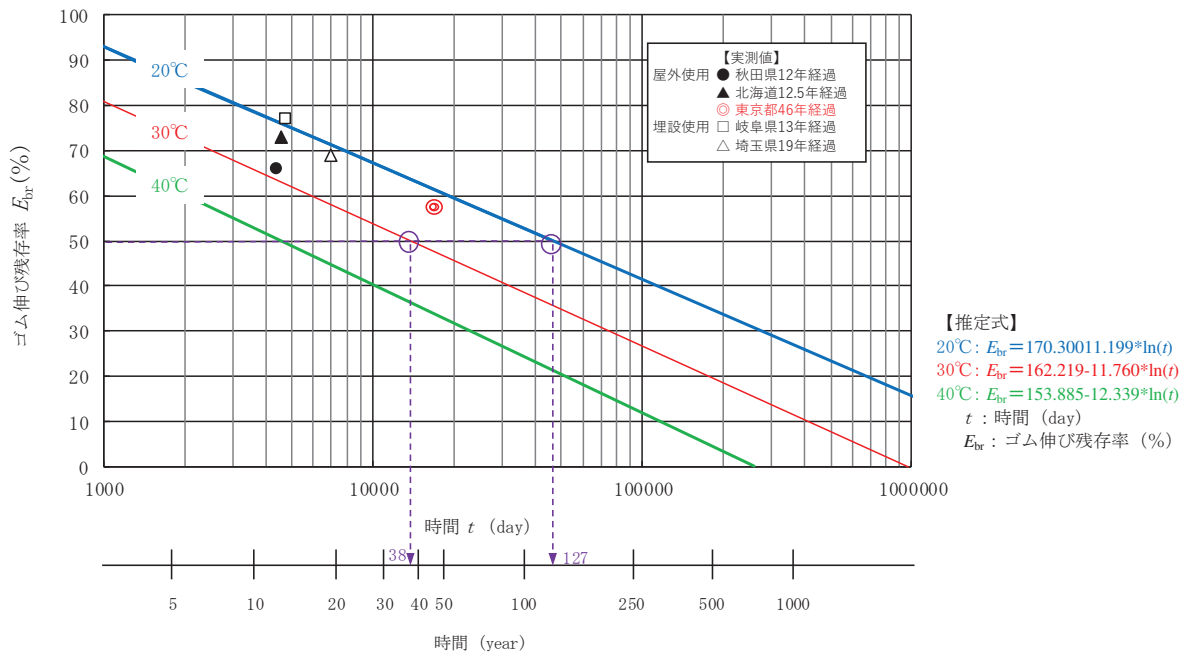


図 6.1.5-30 ゴムジョイントの耐候年数推定結果

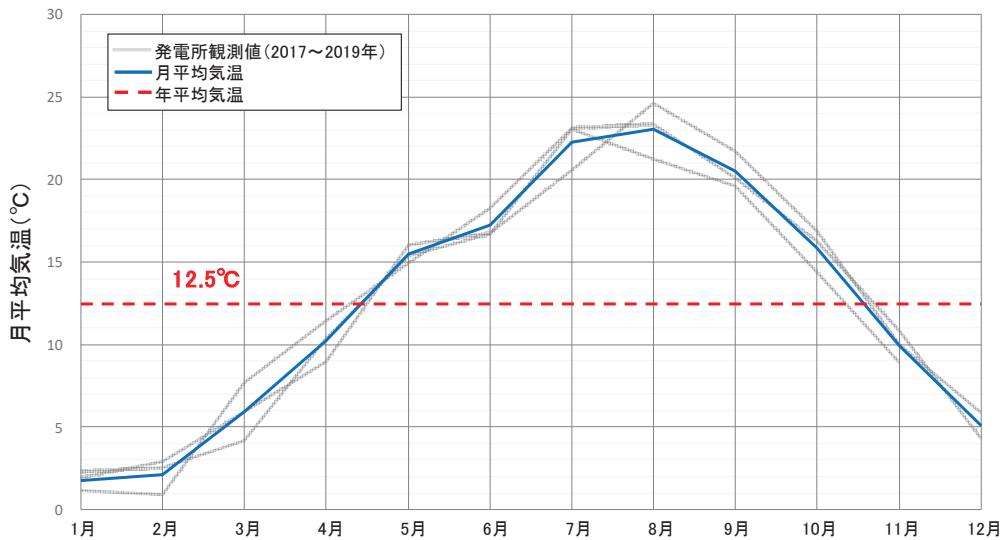


図 6.1.5-31 女川地点における月平均気温

(2) 耐寒性

図 6.1.5-32 に各種加硫ゴムの低温特性値を示す。一般的に、クロロプレンゴムのガラス転移温度（ゴムが温度の低下とともに硬くなり、最後には弾性を失ってもろくなるガラス転移現象が生じる温度で、ガラス転移温度以下ではゴムとしての特性を喪失する）は-40℃程度とされている。

クロロプレンゴムを対象にメーカーにて実施された低温下における引張試験について、図 6.1.5-33 に各試験温度におけるクロロプレンゴムの切断時伸びの結果を示す。比較のため、同図には常温における結果も併記した。温度の低下に伴っ

てクロロプレングムの切断時伸びも低下するが、その変化量はわずかである。また、低温下においても切断時伸びは製品規格値を上回っており、十分な耐寒性を有している。

女川地点における月平均気温は、年平均値は約 13℃で、最低でも約 2℃であることを踏まえると、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレングムを原材料とするゴムジョイントの使用に関して影響はほとんどないと考えられる。

各種加硫ゴムの低温特性値

ゴムの種類	カーボンブラック量 phr	低温特性値 (単位℃)				
		T_g	T_b	T_{10}	T_{50}	T_{70}
BR	SRF 50	-70以下	-70以下	—	—	—
NR	"	-62	-59	-59	-53	-48
SBR	"	-51	-58	-47	-41	-38
IIR	"	-61	-46	-56	-46	-42
CR (W)	"	-41	—	-38	-25	-6
CR (WRT)	"	-40	-37	-37	-28	-19
NBR (ハイカー-1041)	"	-15	-20	-14	-10	-7
NBR (ハイカー-1042)	"	-27	-36	—	—	—
CIIR (Esso Butyl HT-1066)	FEF 30	-56	-45	-45	-32	-23
CO (ハイドリン100)	FEF 30	-25	-19	-18	-12	-9
ECO (ハイドリン200)	FEF 30	-46	-40	-36	-30	-29
CSM (ハイパロン40)	FEF 40	-27	-43	-6	+6	+7
ACM (チアクリル76)	FEF 45	—	-18	-18	-8	-2
FKM (G-501)	FT 25	—	-36	-14	+9	+15
T (チオコールFA)	FEF 30	-49	—	-42	-30	-18
U (エラストサン455)	FEF 25	-32	-36	-22	-13	-7

T_g : ゲーマンねじり試験より
 T_b : ぜい化試験より
 T_{10}, T_{50}, T_{70} : T-R 試験より

出典 丹野博実:日ゴム協誌, 46, 644 (1973)

図 6.1.5-32 ゴムの低温特性

(非金属材料データブック (日本規格協会) *3, 一部加筆)

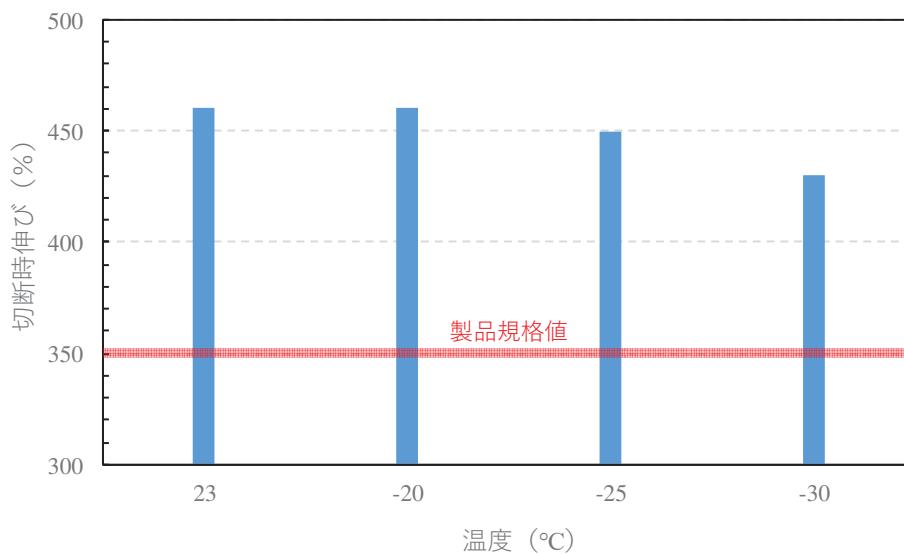


図 6.1.5-33 低温下におけるクロロプレングムの切断時伸び

(3) 耐候性

クロロプレンゴムを対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。耐候性試験は、屋外に長期曝露された状況を想定し、主に日光（紫外線）や雨雪に対する耐性を評価するための試験である。試験体に対し、太陽光に近い人工光源の照射や断続した水の噴霧を与え、自然環境に起因する劣化促進を図っている。耐候性試験をもとに、熱老化試験と同様の整理を経て得られた時間－ゴム伸び残存率の推定線を図 6.1.5-34 に示す。比較のため、図 6.1.5-34 には、熱老化試験より得られた推定線も併記した。熱老化による影響と比較するとゴム伸び残存率の低下は緩やかであり、熱老化よりも影響は少なく十分な耐候性を有している。

なお、ゴムジョイントは防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置され、その海側には漂流物防護工が設置されるから、日光（紫外線）や雨雪等の影響を受けにくいと考えられ、劣化速度は耐候性試験結果よりもさらに緩やかになると考えられる。

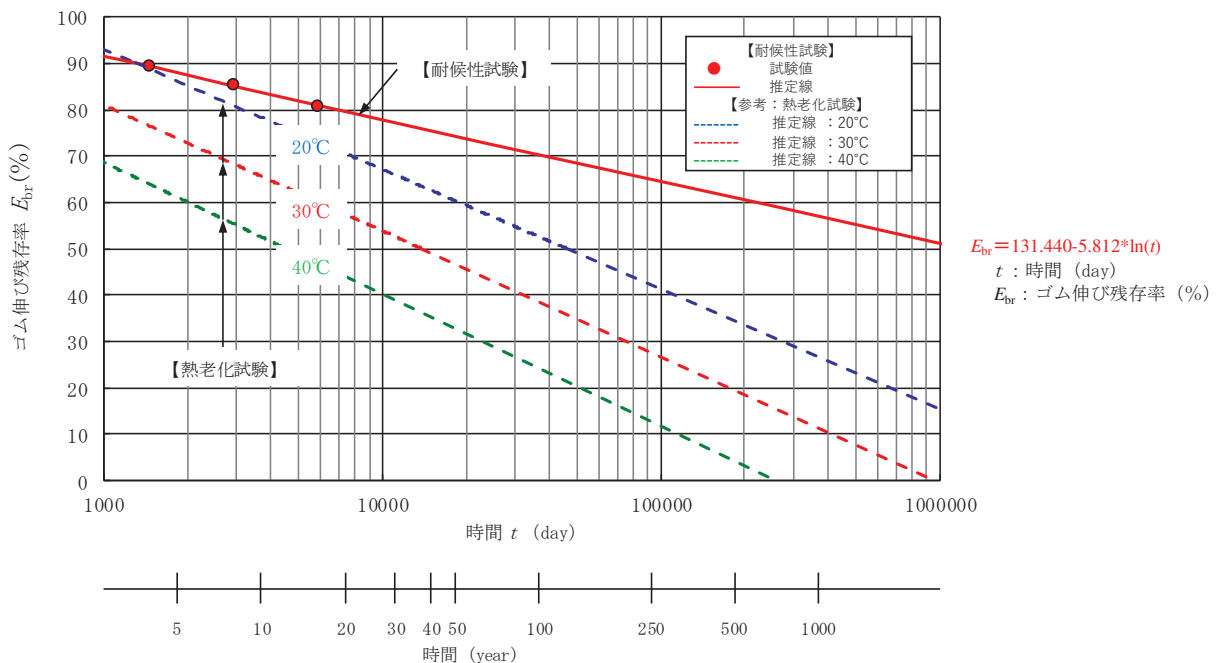


図 6.1.5-34 耐候性試験より推定される時間－ゴム伸び残存率の関係

(4) まとめ

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムに対する耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性について検討した。その結果、クロロプレンゴムの耐久性に最も大きな影響を与える項目は耐熱性（耐熱老化性）であると考えられる。耐熱性（耐熱老化性）について、女川地点における平均気温が約 13°C

であることを踏まえると、ゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 127 年と推定される。

なお、女川地点における平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に 8 月であり、保守的に評価してもゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 38 年と推定され、十分な耐熱性を有している。また、気中下において約 46 年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は 50%以上であることが確認されている。

以上により、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレンゴムを原材料とするゴムジョイントは、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

注記 *1：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
（1981）：ゴム支承の経年変化と静的特性，日本ゴム協会誌，55
巻，3号，pp.174-184

*2：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
（1982）：ゴム支承の経年変化と活荷重の影響，日本ゴム協会誌，
55巻，12号，pp.777-783

*3：日本規格協会 1983 非金属材料データブック pp.192-193

4.3 ウレタンシリコーン目地の評価結果

長期的な使用のための耐久性に関しては、ウレタンシリコーン目地を構成するシリコーン及びウレタンについてメーカーによる耐候性試験（熱老化試験，乾湿繰り返し試験）により確認する。

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

a. シリコーン材（トスシール 361）

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

表 6.1.5-20 に示す養生及び加熱劣化条件で熱劣化試験を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min:50%引張応力（M50），最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を実施している。試験結果を表 6.1.5-21 に示す。

表 6.1.5-21 の試験結果から、いずれの条件下においてもシリコーン材（トスシール 361）に異常は確認されなかった。また、100℃で 365 日加熱促進劣化しても異常がなかったことを踏まえ、女川地点における年平均気温が約 13℃であることを踏まえると、250 年以上物性の変化がなく使用できることになる。

なお、女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23℃であることを踏まえ、保守的に 30℃としたとしても、120 年以上物性の変化がなく使用できることになり、十分な耐熱性を有している。

$$365 \text{ 日} \times 2^8 = 93440 \text{ 日} = 256 \text{ 年}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い, } (100-20)/10=8 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^8 \end{array} \right]$$

表 6.1.5-20 養生及び加熱劣化条件

	養生	加熱劣化条件
① 標準養生（2成分形）	23℃50%RH×7日間	50℃7日間
② 加熱劣化	標準養生	100℃加熱 365日間
③ 加熱劣化	標準養生	120℃加熱 365日間
④ 加熱劣化	標準養生	150℃加熱 365日間
⑤ 加熱劣化	標準養生	175℃加熱 28日間
⑥ 加熱劣化	標準養生	200℃加熱 10日間

表 6.1.5-21 標準養生後と加熱促進劣化後の引張接着試験結果 (H型)

条件	M50	Tmax	E _{max}	破壊状況		
				CF	TCF	AF
	MPa	MPa	%	%	%	%
標準	0.14	0.58	1480	100	0	0
100°CX365日	0.14	0.56	1400	100	0	0
120°CX365日	0.13	0.62	1380	100	0	0
150°CX365日	0.09	0.53	1180	100	0	0
175°CX28日	0.07	0.54	1010	100	0	0
200°CX10日	0.06	0.50	910	100	0	0

表中の破壊状況:CF は凝集破壊、TCF は薄層破壊、AF 界面剥離を示す。

b. ウレタン材 (エアライトフォーム GK-K700)

ウレタンシリコン目地に用いている原材料のうちウレタン材 (エアライトフォーム GK-K700) について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

試験条件を 70°C, 95%RH, 600 日とし湿熱老化試験 (試験片寸法: 50×50×50mm) を実施し、経過日数に応じて体積変化率, 重量変化率及び圧縮強度を確認した。試験結果を表 6.1.5-22 に示す。

表 6.1.5-22 の試験結果から、600 日経過した時点においても体積変化率, 重量変化率及び圧縮強度に変化は生じていないことを確認した。また、70°C で 600 日経過しても異常がなかったことを踏まえ、女川地点における年平均気温が約 13°C であることを踏まえると、50 年以上物性変化なく使用できることになる。

なお、女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23°C であることを踏まえ、保守的に 30°C としたとしても、26 年以上物性の変化がなく使用できることになり、十分な耐熱性を有している。

$$600 \text{ 日} \times 2^5 = 19200 \text{ 日} \div 365 \approx 52 \text{ 年}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い, } (70-20)/10=5 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^5 \end{array} \right)$$

表 6.1.5-22 湿熱老化試験結果（体積変化率、重量変化率及び圧縮強度）

湿熱劣化日数（日）	体積変化率（％）	重量変化率（％）	圧縮強度（kgf/cm ² ）
0	0	0	2.86
40	+2.5	+1.2	3.13
80	+2.7	+2.3	3.13
160	+1.2	+1.8	3.01
240	+2.3	+2.6	3.30
360	+1.3	+1.1	3.18
480	-0.4	+1.9	3.20
600	+0.4	+1.0	3.26

(2) 耐寒性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて温度変化を踏まえた引張試験が実施されている。試験方法は以下の手順で行っている。

- ① シリコーン材（トスシール 361）を厚さ 2mm のシート状に伸ばし、23℃ 50%RH 雰囲気下で 7 日、その後 50℃ 恒温槽で 7 日養生する。
- ② 硬化後専用打ち抜き型を使用して、JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ③ 規定の温度（200℃、175℃、150℃、125℃、100℃、20℃、-20℃、-40℃、-60℃、-80℃）に 7 日間放置したあと、直ちに以下の試験を行う。
- ④ 2 号ダンベルに打ち抜いたシリコーン材（トスシール 361）を 3 枚重ねて、Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑤ その後、ショッパー引張り試験器を使用して引張特性を評価する。

試験結果を表 6.1.5-23 に示す。その結果、シリコーン材（トスシール 361）は -60℃～150℃ の範囲で硬さ・引張強さ・伸びのいずれの特性もほとんど変化していないことが確認された。女川地点において、月平均気温が最低となるのは 1 月であり、約 2℃ であるため、シリコーン材（トスシール 361）は十分な耐寒性を有している。

表 6.1.5-23 シリコーン材（トスシール 361）の温度による特性

表 トスシール 361 の温度による特性

条件	硬さ	引張強さ	伸び
		MPa	%
200°C	15	1.51	980
175°C	14	1.35	1080
150°C	13	1.18	1480
125°C	12	1.14	1550
100°C	12	1.12	1540
20°C	12	1.10	1580
-20°C	12	1.07	1530
-40°C	13	1.08	1500
-60°C	13	1.06	1460
-80°C	17	1.67	780

(3) 耐候性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材を対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。表 6.1.5-24 に示す養生及び促進曝露劣化条件でウェザーメーター試験（サンシャインカーボンアーク式）を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50），最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を行った。試験結果を表 6.1.5-25 に示す。

一般に、サンシャインカーボンアーク式ウェザーメーター照射は 300 時間が 1 年に相当すると考えられており、10000 時間照射は 33 年に相当する。この条件下においても引張強さや伸び等の物性に变化がまったく認められず、凝集破壊の状態にも異常はなかったことから、シリコーン材は十分な耐候性を有している。

表 6.1.5-24 養生及び促進劣化条件

試験名	養生	促進曝露劣化条件
① 標準養生 (2成分形)	23℃50%RH×7日間	50℃7日間
②促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 1000時間
③促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 1500時間
④促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 3000時間
⑤促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 5000時間
⑥促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 8000時間
⑦促進曝露劣化	標準養生	サンシャインウェザーメーター 10000時間

表 6.1.5-25 標準養生後と促進曝露劣化後の引張接着試験結果 (H型)

条件	M50	Tmax	Emax	破壊状況		
	MPa	MPa	%	CF	TCF	AF
				%	%	%
標準	0.15	0.56	1440	100	0	0
サンシャインウェザーメーター1000時間	0.15	0.58	1480	100	0	0
サンシャインウェザーメーター1500時間	0.15	0.55	1460	100	0	0
サンシャインウェザーメーター3000時間	0.15	0.58	1520	100	0	0
サンシャインウェザーメーター5000時間	0.15	0.56	1490	100	0	0
サンシャインウェザーメーター8000時間	0.15	0.54	1510	100	0	0
サンシャインウェザーメーター10000時間	0.15	0.56	1470	100	0	0

表中の破壊状況:CFは凝集破壊、TCFは薄層破壊、AF界面剥離を示す。

また、シリコーン材(トスシール 361)の屋外曝露 30年経過品の特性について、以下のとおりメーカーによる試験が行われており、その結果、30年経過した製品と新品では、硬さ、引張強さ及び伸び率に変化がなく、30年経過した製品の外観に顕著な異常はないことを確認している。

試験の実施状況写真を図 6.1.5-35 に、試験結果を表 6.1.5-26 に示す。

【試験方法】

- ① 屋外暴露試験場に仕掛けてあるシリコーン材（トスシール 361）をカッターナイフで慎重に切り取り，外観を目視で確認し，指触でべたつきや硬化に異常がないかを確認する。
- ② 切り取ったシリコーン材（トスシール 361）を 2mm の厚さにスライスしやすくするために，Asker 硬度計 A 型での硬度約 50 の 2 成分アルコール型シーラントを，攪拌混合後トスシール 361 の周りにセットし，23℃50%RH 雰囲気下で 3 日養生する。
- ③ 2 成分アルコール型シーラントが硬化後，カッターナイフを使い，厚さ 2mm になるように，トスシール 361 とアルコール型シーラントをスライスする。
- ④ 専用打ち抜き型を使用して，JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ⑤ 2 号ダンベルに打ち抜いたトスシール 361 を 3 枚重ねて，Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑥ その後，ショッパー引張試験器を使用して引張特性を評価する。

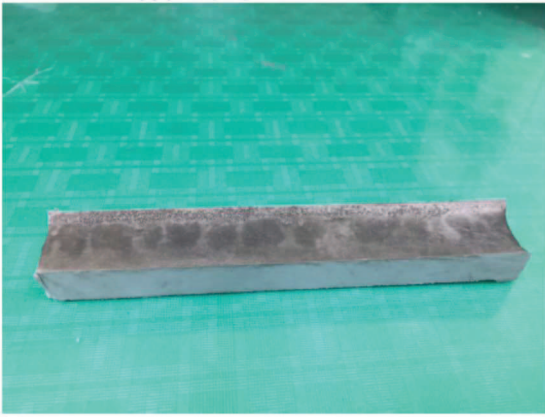


曝露状況



シリコーン材の切り取り状況

図 6.1.5-35(1) シリコーン材の耐候性試験



切り取ったシリコーン材

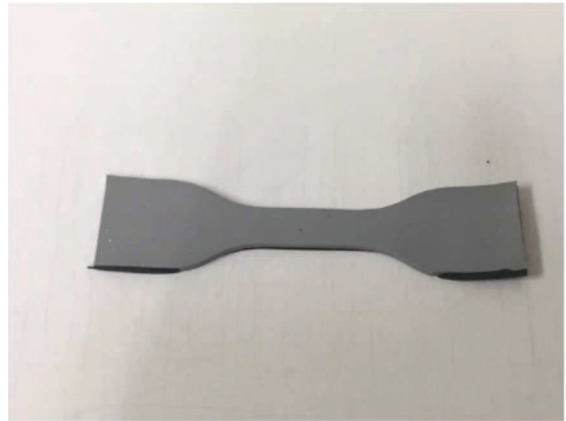


シリコーン材を2成分アルコール型シーラントでサポート

図 6.1.5-35(2) シリコーン材の耐候性試験



シリコーン材を2mmの厚さにスライス



シリコーン材をを2号ダンベルに打ち抜く

図 6.1.5-35(3) シリコーン材の耐候性試験



図 6.1.5-35(4) シリコーン材の耐候性試験（引張試験）

表 6.1.5-26 30年経過のシリコーン材（トスシール 361）の特性と初期値（新品）平均の比較

	30年経過トスシール361	トスシール361(2015年平均)
外観	顕著な異常無し	異常無し
硬さ	12	12.4
引張り強さTs(N/mm ²)	1.14	1.01
伸び(%)	1600	1470

「清水ら 2018*¹」及び「鳥居ら 2018*²」によれば、旭川、銚子及び宮古島において屋外曝露試験を行い、15年経過した製品に劣化は確認されないことが報告されている。

なお、ウレタン材及び縁切材については、シリコーン材で覆われているため、屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用は及ばない箇所に位置している。

注記 * 1：清水祐介・松村宇・鳥居智之・竹本喜昭・伊藤彰彦：防水材料の耐候性試験 その1 1 静的屋外暴露 15年後の表面劣化状態と物性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北） 2018年9月．

* 2：鳥居智之・清水祐介・伊藤彰彦・竹本喜昭：防水材料の耐候性試験 その1 2 建築用シーリング材の表面のひび割れの程度を尺度とした動的屋外暴露と動的人工光暴露の相関性検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北） 2018年9月．

(4) 縁切材（ポリエチレン製）の使用実績

ウレタンシリコーン目地に用いている縁切材の原材料はポリエチレンであり、長期間にわたって使用された実績が多数ある。また、同種材料の発泡スチロールでは盛土材料として用いられた事例もある。

1987年10月から1995年2月までの約7年5ヶ月の間、茨城県つくば市（当時）建設省土木研究所で発泡スチロール盛土を実物大規模（盛土構造は高さ3mでダンプトラックの走行が可能な規模）で行い、道路構造体としての挙動並びに自立体としての側方応力の発生状況が報告されている（メーカーカタログ及び「発泡スチロール土工法開発機構（EDO）平成7年度第一回合同部会資料（平成7年11月20日）」）。なお、この試験では盛土材料として埋設されるため、ウレタンシリコーン目地に使用する場合と同様に紫外線が当たらない状況は同じであるが、常時荷重が作用しているため、ウレタンシリコーン目地よりも過酷な条件となっている。

盛土材料の試験結果（表 6.1.5-27）から、いずれの試験体でも7年5ヶ月経過

後の形状寸法、密度及び圧縮強度は規格値（表 6.1.5-28）を満足していることが確認されている。また、地下水位以下のもの、直接土面に接しているものについては、若干の着色変化や汚れが見られたものの、品質の点から新品同様との判断がなされている。

表 6.1.5-27 試験結果（メーカーカタログ引用）

	密度 kg/m ³	5%圧縮強度 kgf/cm ²		密度 kg/m ³	5%圧縮強度 kgf/cm ²
サンプル No.1	19.7	1.32	サンプル No.4	19.6	1.30
サンプル No.2	20.0	1.36	サンプル No.5	21.1	1.42
サンプル No.3	21.3	1.41	サンプル No.6	20.5	1.34
平均			20.4		
			1.36		

表 6.1.5-28 品質規格（メーカーカタログ引用）

項目	D-20（型内法）	測定法
密度 kg/m ³	19-23	JIS A 9511
質量 kg/本	(12. ³ -15. ⁶)	台秤
寸法 mm	縦 1820±10	巻尺
	横 910±6	
	厚さ 400±5	
圧縮強度 kgf/cm ²	0.8以上	JIS A 9511

また、「黒木 2001*」によれば、南極の昭和基地で同種材料を芯材にした断熱パネルの 40 年経過後熱伝導率を測定しており、まったく劣化しておらず、性能が維持されていることを報告している（図 6.1.5-36）。

注記 *：黒木勝一：断面材の種類と素材特性，建築技術 2001 年 2 月号。

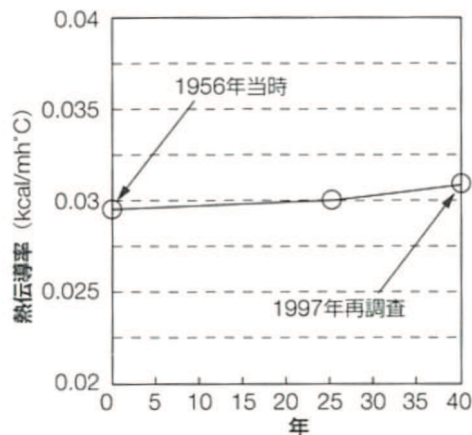


図 6.1.5-36 南極昭和基地の断熱材の熱伝導率変化（40 年経過）（「黒木 2001」引用）

縁切材（ポリエチレン製）と同種材料による2事例については、紫外線の影響がほとんどない状態で長期にわたり十分な耐久性を有していることが確認されている。この使用環境下に対して、ウレタンシリコーン目地で用いる縁切材は完全にシリコーンに覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響が全くない状況となることから、ウレタンシリコーン目地の使用環境下において、縁切材（ポリエチレン製）は十分な耐久性を有している。

(5) まとめ

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のシリコーン材、ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）に対する耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性、耐候性及び使用実績について検討した。その結果、ウレタンシリコーン目地の耐久性としては、シリコーン材及びウレタン材の耐熱性（耐熱老化性）が最も大きな影響を与える項目であると考えられる。ただし、この耐熱性（耐熱老化性）について、女川地点における平均気温が 20℃であることを踏まえると、シリコーン材は 250 年以上物性に変化はなく、ウレタン材は 50 年以上物性に変化はないと推定される。

以上により、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるシリコーン材、ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）を原材料とするウレタンシリコーン目地は、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

5. 維持管理方針の検討

止水ジョイント部材（ゴムジョイント：クロロプレン，ウレタンシリコーン目地：シリコーン材，ウレタン材及び縁切材）の維持管理は，部材の劣化，変状の発生・進行を把握し，許容限界を満足することを確認することを目的に，定期的な目視点検及び暴露試験を行う。

点検時期や点検方法について表 6.1.5-29 に示す。なお，詳細は別途定める保全計画に基づくものとして保安規定及び個別文書に示す。

表 6.1.5-29 点検時期および点検方法

時期	分類		時期，頻度	方法
維持管理開始時	初回点検		竣工直後	定期点検に準じる
供用中	点検	巡視点検	1回/月 ^{*1}	双眼鏡等を用いた目視点検
		定期点検	1回/年 ^{*1}	足場等を用いた目視点検
	暴露試験		1回/月 ^{*2}	暴露試験体の目視点検
			1回/年 ^{*1} (竣工後15年以降)	暴露試験体を用いた引張試験

注記*1：ゴムジョイント及びシリコーン材を対象とする。

*2：ウレタン材及び縁切材を対象とする。

(点検)

- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に巡視点検（1回/月），並びに定期点検（1回/年）による外観目視点検を行う。
- ・ 巡視点検では可視範囲で，定期点検では足場等を用いて全範囲を点検し，劣化及びひび割れ等の不具合の有無を確認するとともに，必要に応じ試験等を行う。

(暴露試験)

- ・ ウレタン材及び縁切材を対象に，目視点検（1回/月）を行う。
- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に暴露試験体の伸び量等を測定し，設置当初からの変化率から性能劣化の程度を評価する。
- ・ 試験頻度は，設計値，劣化予測結果及び供用期間並びに暴露環境等を考慮して設定する。

(補修，取替え)

- ・ 点検により損傷等が確認された場合は，速やかに補修・取替えを行う。

6. ウレタンシリコーン目地の施工方法について

ウレタンシリコーン目地の施工フローを図 6.1.5-37 に、施工状況を図 6.1.5-38 に示す。なお、図 6.1.5-15 で示したように、ウレタンと縁切材は海側、山側（敷地側）及び天端がシリコーンで覆われており、シリコーンの下端部は背面補強工内に約 5cm の深さまで施工している。

「2. 性能確認試験」で行った性能確認試験では図 6.1.5-37 の施工フローに従って試験体を製作していることから、試験で確認された性能は、実機でも発揮できるものと考えられる。

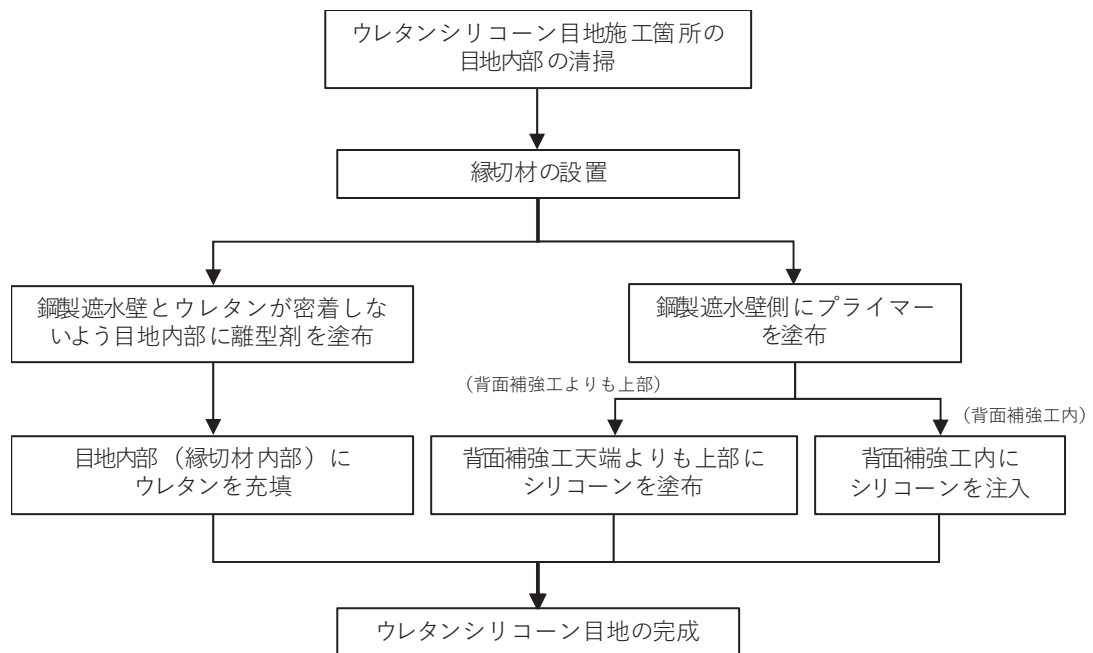


図 6.1.5-37 ウレタンシリコーン目地の施工フロー



図 6.1.5-38(1) ウレタンシリコーン目地の施工状況




		
<p>背面補強工内の深さ約 5cm まで シリコーンを注入(山側(敷地側))</p>	<p>シリコーン注入後 (山側(敷地側))</p>	<p>シリコーン注入後 (海側)</p>

図 6.1.5-38 (2) ウレタンシリコーン目地の施工状況

(参考資料 1) 設計水圧 (0.3MPa) を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験 (試験水圧: 0.34MPa) について

ウレタンシリコーン目地の変形試験及び耐圧試験は、先述で示した No. 9 及び No. 10 の他に No. 11 の試験体でも行っていることから、その試験結果について示すものである。

1. 試験条件 (試験変位量, 水圧)

試験条件として表 1 に示す変位量, 水圧を作用させる。加圧時間は津波の作用時間を考慮して 10 分以上を基本とし、本試験ではさらに保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後、表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

ウレタンシリコーン目地に作用する水圧は、「1.2 (2) 試験水圧」で示したとおり、最大で 280.6kN/m² (0.2806MPa) であるが、海水に浮遊砂が混入した状況を念のため想定し、海水密度を 1.1g/cm³ と仮定した場合、299.67kN/m² であり、ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m² に対して余裕が少ないことから、1 割以上の余裕を確保するため 0.34MPa (340kN/m²) とした。

また、上記水圧は背面補強工の天端 (ウレタンシリコーン目地の設置範囲の下端部) で生じるが、この位置での変位はほとんど生じないため、伸び方向の変位については「6.1.6 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」で評価した伸び方向の最大変位 (重畳時の H 区間: 3.2mm) を踏まえて 4mm とした。ただし、せん断方向の変位量は No. 9 及び No. 10 と同様に 30mm とした。

ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フローを図 1 に、変形・耐圧試験の状況を図 2~8 に示す。

表 1 ウレタンシリコーン目地の試験条件

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	必要耐圧 保持時間
No. 11	変形試験	伸び 4mm せん断 30mm	/	/
	耐圧試験	伸び 4mm せん断 30mm	0.34MPa	10 分以上*

注記 * : 加圧時間は必要耐圧保持時間に対し、十分な余裕をもって 30 分間とした。

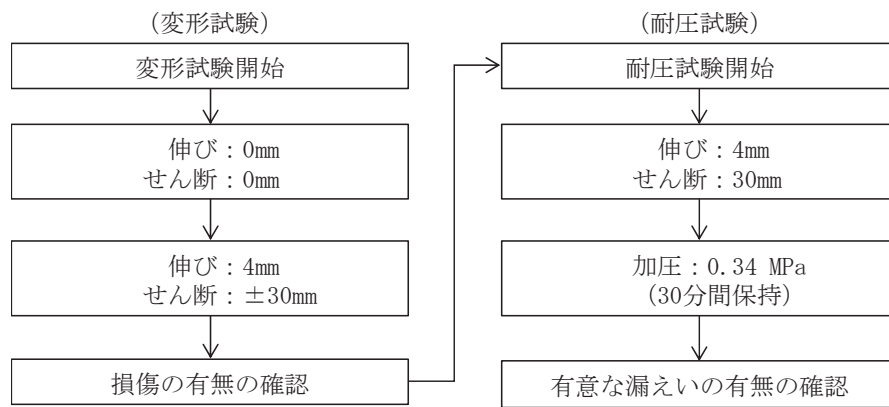


図1 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー

2. 試験状況写真

(1) 変形試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm)

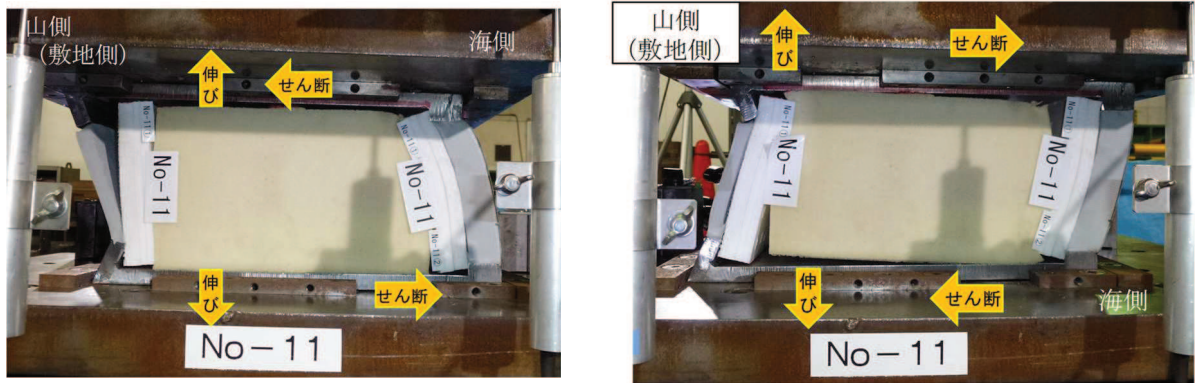
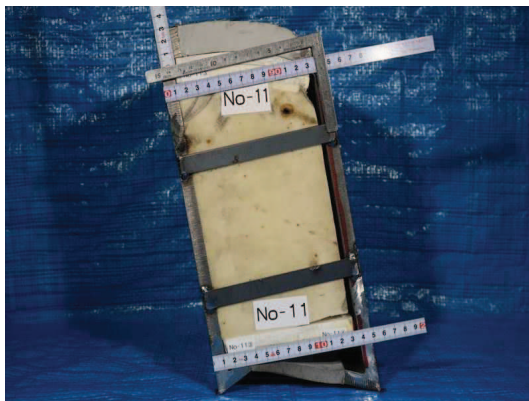


図2 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)



(写真上方が津波作用側)



(写真上方が津波作用側)

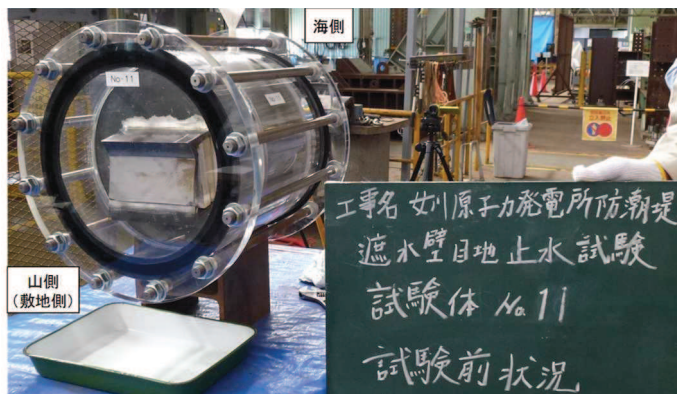
図3 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)
(耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

(2) 耐圧試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm, 水圧 0.34MPa)

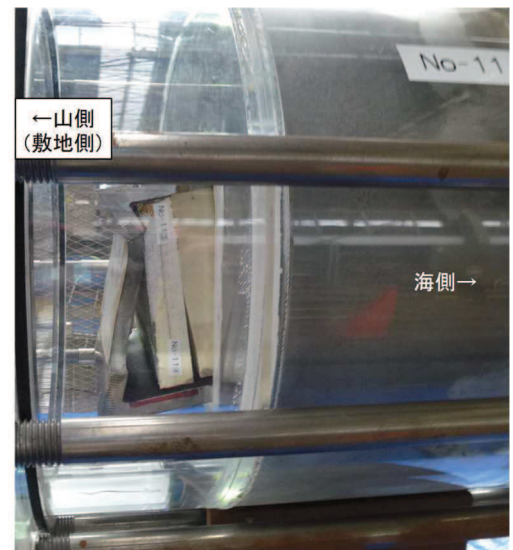


加圧前状況 (海側)

図4 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



加圧前状況 (敷地側)



加圧前状況 (敷地側断面)

図5 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



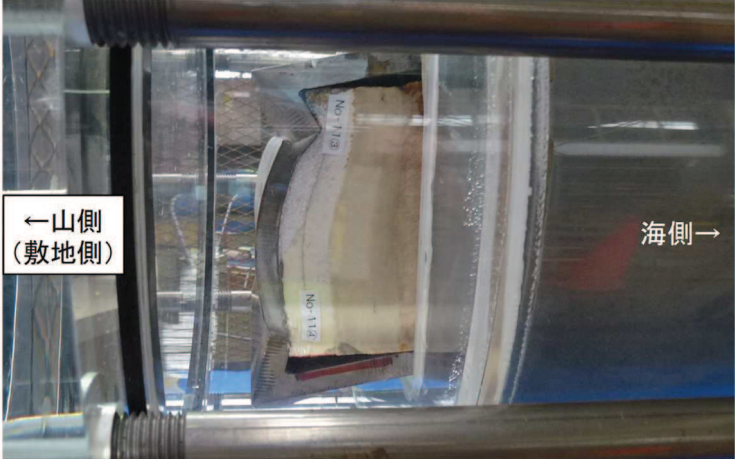
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p>

図6 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）
（10分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧 0.34MPa）

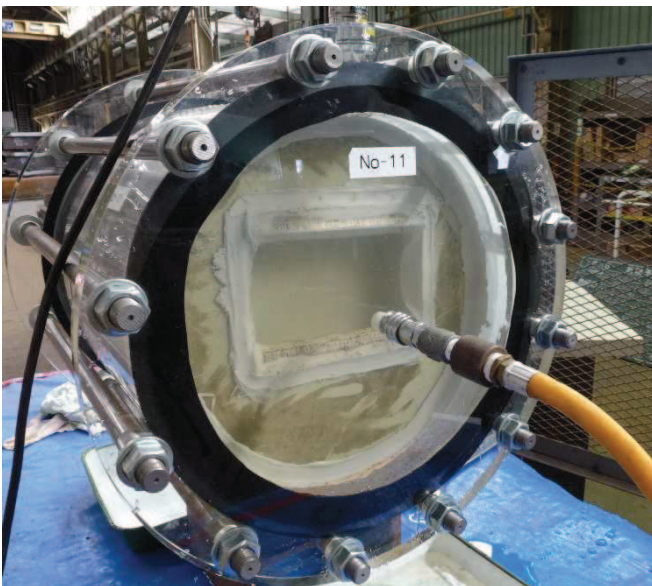
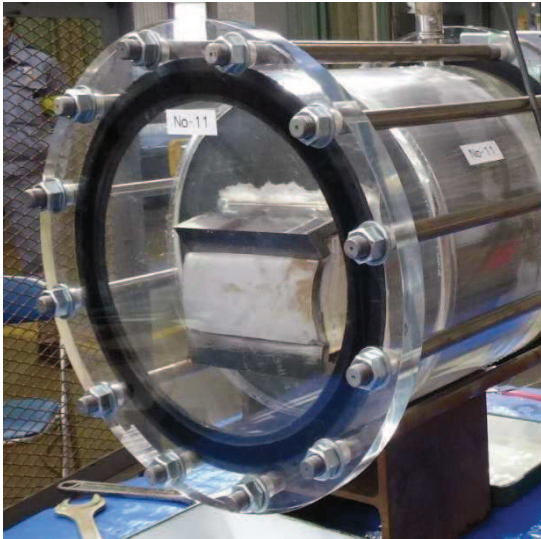
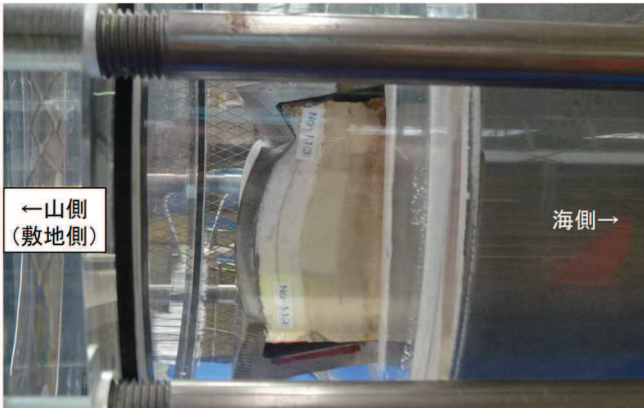
	<p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>
	<p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p>

図7 ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）

（20分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧0.34MPa）




	<p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
 <p>工事名 女川原子力発電所防潮堤がこ上げ工事 遮水壁目地止水試験 試験体 No.11 試験状況 (水圧 0.34MPa) 30分保持</p>	<p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>
 <p>←山側 (敷地側)</p> <p>海側→</p>	<p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p>

図 8 ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）

（30 分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧 0.34MPa）

3. 試験結果

所定の変位（伸び 4mm，せん断 30mm）を与えた上で，津波による波圧を上回る水圧 0.34MPa を 10 分以上（加圧時間：30 分間）加圧した結果，表 2 に示すとおり損傷及び漏えいが無いことを確認した。

表 2 ウレタンシリコーン目地の試験結果

試験 No.	試験種別	変位量	水圧	耐圧 保持時間	損傷*， 漏えい	判定
No. 11	変形試験	伸び 4mm せん断 30mm	/	/	無し	OK
	耐圧試験	伸び 4mm せん断 30mm	0.34MPa	10 分以上	無し	OK

注記*：表 6.1.5-11 に基づき，シリコーンが切れていないか，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れていないか，ウレタンが割れて隙間が生じていないかを確認する。

(参考資料 2) 鋼製遮水壁の塗装について

シリコン材を施工する鋼製遮水壁には塗装が施されているため、津波作用時に水圧が作用した場合、鋼製遮水壁の母材（鋼材）と塗装が剥がれる可能性がある。そのため、塗装の付着力について以下のとおり確認し、止水性に対して十分な付着力を有することを確認した。

1. 塗装仕様

鋼製遮水壁に施工する塗装は、超厚膜塗装であり、仕様は表 1 のとおりである。この超厚膜塗装は、厳しい腐食環境にある鋼構造物向けのエポキシ樹脂被覆材料であり、一度にミリ単位の厚塗りが可能で、この厚塗りにより高度な環境遮断機能を有し、優れた耐久性を発揮する特徴がある。

表 1 鋼製遮水壁の塗装仕様

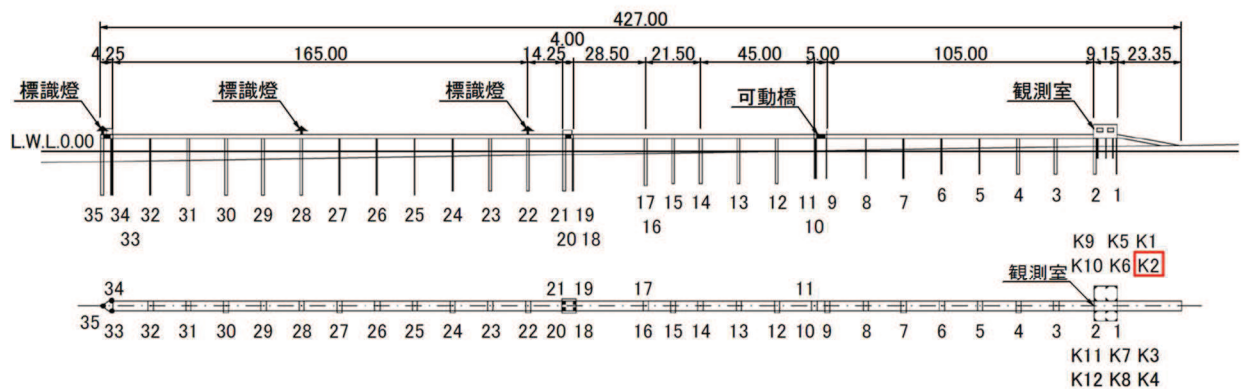
工程		塗料	膜厚
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 SIS-Sa2 1/2	—
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	(15 μ)
製作工場	素地調整	ブラスト処理 SIS-Sa2 1/2	—
	防食下地	有機ジンクリッチペイント	75 μ
	補強塗（1回目）	超厚膜形エポキシ樹脂被覆材料	1150 μ
	補強塗（2回目）	超厚膜形エポキシ樹脂被覆材料	1150 μ
	中塗	フッ素樹脂塗料用中塗	30 μ
	上塗	フッ素樹脂塗料用上塗	25 μ

2. 塗装の耐久性

上記塗装と同様の仕様の曝露試験結果が、「長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告），No.1324，港湾空港技術研究所資料，2016」で報告されている。なお，曝露試験が行われた栈橋は，茨城県神栖市須田浜地先の海岸に位置している。

曝露試験が行われた超厚膜塗装の鋼管杭の配置を図1に，塗装概要を表2に示す。

29年経過の付着試験結果を表3に示す。この結果から，29年経過したとしても，超厚膜塗装は2.5（MPa）以上の付着力を有することを確認した。



杭No.	塗装工法名
K1	超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法
K2	超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法
K3	超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法
K4	ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法
K5	超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法
K6	タールエポキシ樹脂塗装工法
K7	タールエポキシ樹脂塗装工法
K8	ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法
K9	C5 塗装系塗装工法
K10	ガラスフレークポリエステル樹脂/ふっ素樹脂塗装工法
K11	湿潤面用エポキシ樹脂塗装工法
K12	ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法

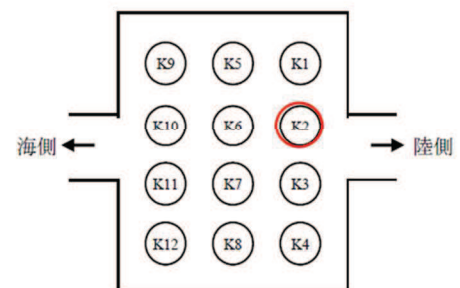


図-2.19 観測室下部塗装鋼管杭配置図

表-2.15 施工した素地調整グレード

施工法	素地グレード	ブラスト処理後の仕上り素地
ブラスト処理	ISO-Sa2 ^{1/2}	拡大鏡などで，表面に見える油，グリース，泥土およびミルスケール，さび，塗膜，異物などがほとんどないこと．残存している汚れの全ての痕跡は，斑点あるいはすじ状の僅かな染みとしてのみ認められること．

図1 超厚膜塗装を施工した鋼管杭の配置図

（「長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告），No.1324，港湾空港技術研究所資料，2016」に一部加筆）

表 2 塗装工法概要と調査項目

(「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究
(30年経過時の報告), No. 1324, 港湾空港技術研究所資料, 2016」に一部加筆)

杭No.	K2	K3	K4	K8	K12
内容	超厚膜エポキシ		ガラスフレーク(GF)		
上塗	エポキシ	エポキシ	GFエポキシ	GFエポキシ	GFエポキシ
中塗	1000 μ m	2000 μ m	300 μ m	300 μ m	500 μ m
下塗	\times 2回	\times 1回	\times 3回	\times 3回	\times 2回
ジンクリッチペイント(亜鉛末塗料)膜厚	20	20	15	15	なし
設定トータル膜厚(μ m)	2020	2020	915	915	1000
経過年数(年)	29	29	29	29	29
定期調査	外観観察	○	○	○	○
	写真撮影	○	○	○	○
	膜厚測定	○	○	○	○
詳細調査	付着力測定	○	○	○	○
	鋼材素地観察	○	○	○	○
	電気化学インピーダンス	○	○	○	○
	分析 $\cdot\cdot$ 塩素イオン透過	○	○	○	○

表3 付着力試験結果

(「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究
(30年経過時の報告)」、No.1324、港湾空港技術研究所資料、2016」に一部加筆)

		K2	K3	K4	K8	K12
部位1	剥離面					
	付着強度 (MPa)	3.5	2.5	2.5	3.5	0.5
	剥離部位	一般部 100	過去補修部近傍 100	過去補修部・錆部近傍 100	一般部 GF層間 100	錆部近傍 鋼素地 100
部位2	剥離面					
	付着強度 (MPa)	3.5	6.0	3.5	2.5	1.5
	剥離部位	表層/層内/シンク層内 50/40/10	層内 100	GF層間 100	GF層間 100	鋼素地 100
部位3	剥離面					
	付着強度 (MPa)	2.5	3.0	3.5	4.0	2.0
	剥離部位	過去補修部近傍 層内/シンク層内 30/70	過去補修部近傍 層内/シンク層内 90/10	過去補修部・錆部近傍 GF層間 100	一般部 GF層間 100	錆部近傍 表層/鋼素地 50/50
部位4	剥離面					
	付着強度 (MPa)	3.0	4.0	4.5	0.5	1.5
	剥離部位	表層 100	層内/シンク層内 50/50	GF層間/GF層内 80/20	GF層間 100	表層/鋼素地 90/10
部位5	剥離面					
	付着強度 (MPa)	4.0	2.0			
	剥離部位	表層/エポキシ・シンク層間 40/60	層内/シンク層内/錆層内 30/50/20			
部位6	剥離面					
	付着強度 (MPa)	4.5	4.0			
	剥離部位	表層/エポキシ・シンク層間 40/60	表層/層内 50/50			

(参考資料3) ウレタンシリコーン目地の施工管理について

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位に対して有意な漏えいを生じない変形に留まる止水ジョイント部材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としており、表 6.1.5-1 及び図 6.1.5-2 に示す構造同一部にはシリコーン、ウレタン及び縁切材で構成されるウレタンシリコーン目地を設置することとしている。

ここでは、ウレタンシリコーン目地の施工にあたり、ウレタンシリコーン目地が、本編の「2.2 ウレタンシリコーン目地」で確認した止水性能を発揮できるように以下に示す施工管理を行う。

1. ウレタン

1.1 ウレタンの概要

ウレタンは、発泡機を用いて2液（T液：ポリイソシアネート，R液：ポリエーテルポリオール）を混合したものが液状から発泡し、固形物になるものであり、発泡することで鋼製遮水壁及び縁切材で四方を囲われた目地内部を充填するものである。

ウレタンを施工する目地の内部充填高さは1箇所あたり最大10.5mと高くなることを踏まえ、ウレタンを目地内部で発泡させて確実に充填させるため、図1に示すとおり1回の充填高さを最大3.6m以内として高さ方向に4分割し施工する。

なお、ウレタンは、海側及び山側（敷地側）のシリコーンを施工する前に施工する。

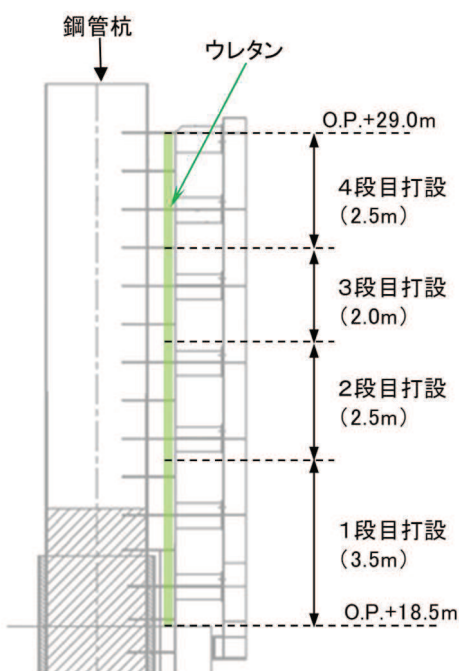
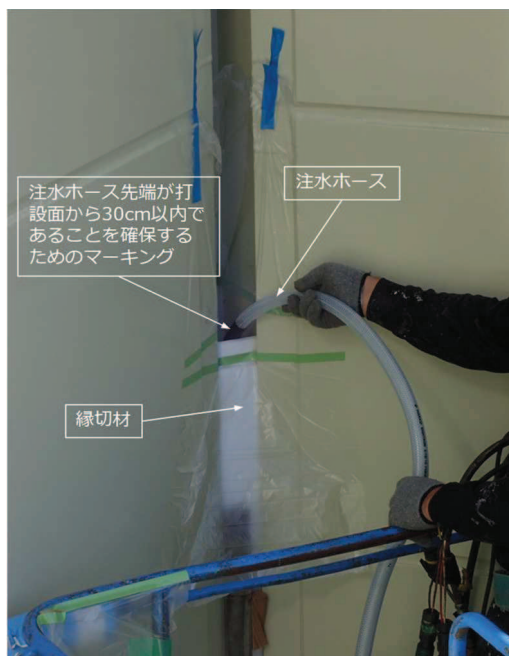


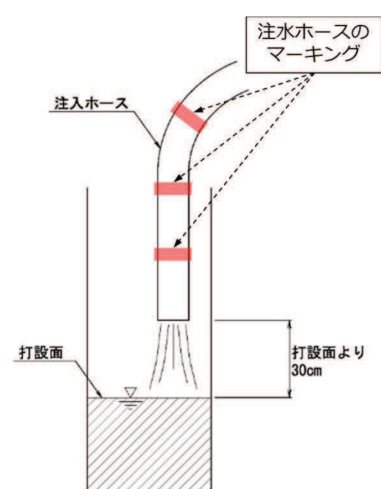
図1 ウレタンの打設高さ（4分割）

1.2 ウレタンの施工手順

- ・ ウレタンを施工する前に、ウレタンシリコン目地を施工する目地内部（鋼製遮水壁面）を清掃し、図1で示した所定の高さまで海側及び山側（敷地側）の鋼製遮水壁縁の張出部に接するように縁切材を設置する。
- ・ また、ウレタンは施工日毎にキャリブレーションを行う。具体的には、T液とR液の吐出量を同等にして混合（以下、「混合液」という）し、配合比T/R（重量比）が管理基準内（ 0.96 ± 0.05 ）であることを確認するとともに、この混合液が良好にウレタンとして発泡することを確認（試験用箱を用いて発泡状況を確認）する。このキャリブレーションの結果を踏まえ、T液とR液の吐出量を規定する。なお、吐出量は7～9kg/min程度であり、気温や湿度によりウレタンの発泡状況は変わるため、上記のとおり吐出量は施工日毎に規定する。
- ・ キャリブレーションで規定した吐出量で、注入ホースにより混合液を所定の高さまで打設する。混合液を目地部に打設する際には、事前に注入ホースにテープ等でマーキングを行い、打設状況を目視で確認しながら、打設面に対して注入ホース先端が高さ30cm以内であることを確認しながら注水ホースを徐々に上げて所定の高さまで施工する（図2及び図3）。
- ・ P.+29.0mの高さまで上記手順を繰り返し行う。



（混合液の打設状況）



（目地内部の打設イメージ）

図2 ウレタンの打設方法及び検査



図3 目地内部でのウレタンの発泡状況

2. シリコーン

2.1 シリコーンの概要

ウレタンと同様、シリコーンを施工する高さは1箇所あたり最大10.5mと高くなることを踏まえ、シリコーンを確実に施工するため、図4に示すとおり1回の施工高さを最大3.6m以内として高さ方向に4分割し実施する。

なお、シリコーンは、海側及び山側（敷地側）の縁切材及びウレタンの施工後に施工する。

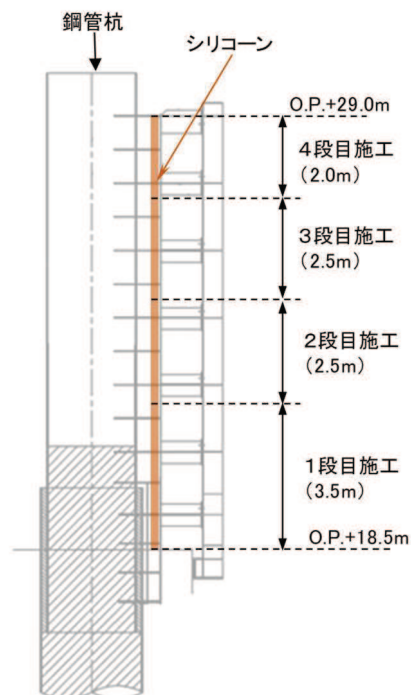


図4 シリコーンの施工高さ（4分割）

2.2 シリコーンの施工手順

鋼製遮水壁に余分なシリコーンが接着しないように、目地両側の鋼製遮水壁にマスキングテープを貼り付ける（図5）。また、縁切材についてもプライマーが付着すると、シリコーンと縁切材が接着してしまうため、縁切材にもマスキングテープを張り付ける（図5）。

マスキングテープ貼り付け後、シリコーンと鋼製遮水壁の接着面（張出部）の清掃を行い、ゴミ等の付着物を取り除く。その後、プライマーを刷毛で塗布し、マスキングテープを取り外す。

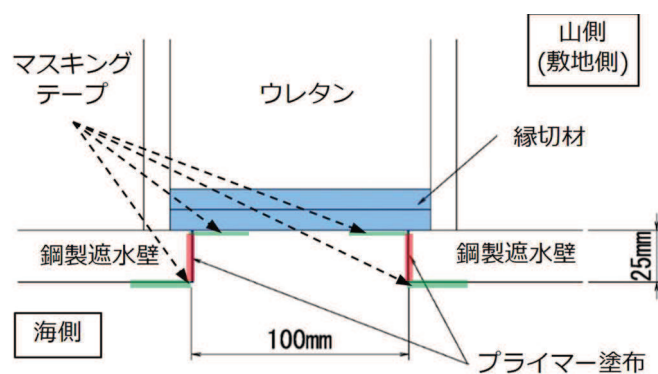


図5 シリコーン施工前の状況

シリコーンとプライマーを塗布した鋼製遮水壁の張出部の付着性が重要となるが、その付着の厚みは25mmと厚くなっている。そのため、塗布後に自重によりシリコーンが垂れ下がったり、シリコーン内に気泡が混入しないための塗布方法として、塗布を1段ごと3回に分けて行うこととする。なお、山側（敷地側）については、目地幅が海側に比べて狭くなっていることから、1回目は同様の手順とするが、2回目と3回目を同時に行うこととする。

以下に1～3回目の手順を示す（図6）。

【1回目】

鋼製遮水壁と縁切材の隅部①にコーキングガンのガン先を当て、気泡が混入しないように充填する。充填後は、ヘラやコテを使用して隅までシーリング材を押し込むように押さえる。

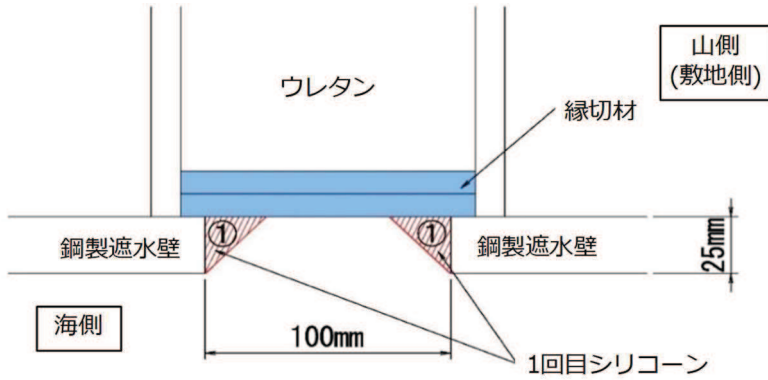
【2回目】

1回目のシーリング材が指触できる状態まで硬化していることを確認し、縁切材を覆うように2回目の充填を行う。

【3回目】

2回目のシーリング材も指触できる状態まで硬化していることを確認し、3回目の充填を行う。3回目の充填後ヘラやコテを使い押さえ平らにな

るようにする。



(施工時写真)

図6 (1) シリコーン施工手順 (1回目シリコーン充填時)

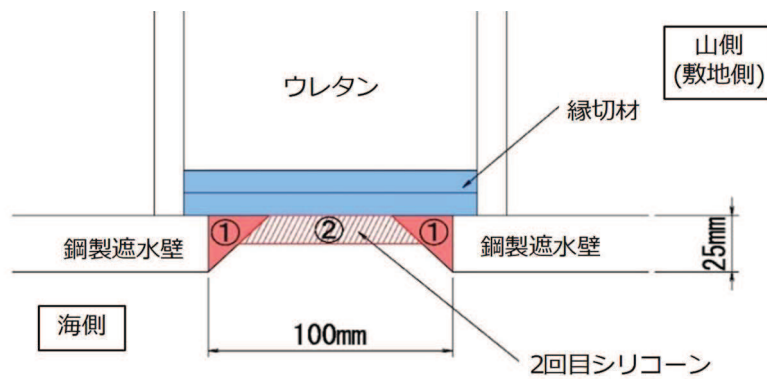
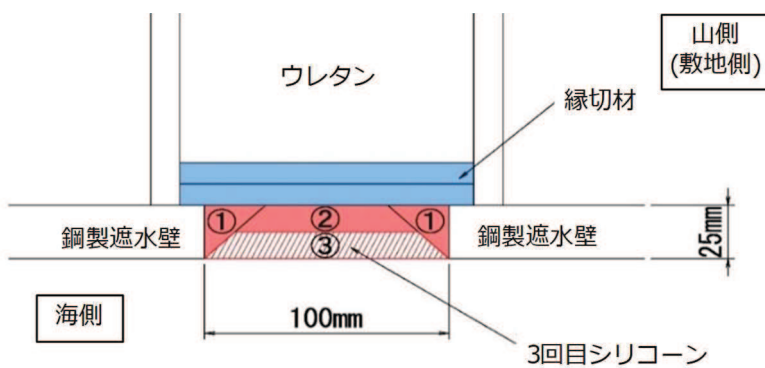


図6 (2) シリコーン施工手順 (2回目シリコーン充填時)



(施工時写真)

図6 (3) シリコーン施工手順 (3回目シリコーン充填時)

2.3 シリコーンの検査

シリコーンの品質を確保するため、施工の各工程で検査を行い、施工状況を確認しながら施工する施工管理を行うこととする。

施工の各工程で行う検査については、「建築工事標準仕様書・同解説/JASS 8 防水工事」を参考に、表1に示す項目を実施する。

表1 シリコーンの施工の各工程で行う検査内容

工 程	管理項目	管 理 基 準	管 理 方 法			チェック欄	備考
			時 期	検査方法 測定方法	数量また は頻度		
1	材料の搬入	製造年月日	製造後6か月以内	材料納入時	目 視	全 数	
2	作業可否の判断	温度・湿度	気温5℃以上、湿度80%以下	施工当日 AM PM 10:00, 14:00	温 度 計 湿 度 計	毎 日	
3	被着面の確認	乾燥程度 脆弱程度	乾燥していること、脆弱でないこと	マスキングテープ張り付け前	目 視	全 数	
4	マスキングテープ張り	張付け位置	プライマー、シリコーン付着不可箇所	プライマー塗布前	目 視	全 数	
5	プライマーの塗布	塗布の状態 オープンタイム(t)	塗布むらのないこと 30分<t<480分	シーリング材充填前	目 視	全 数	
6	マスキングテープ除去	テープの有無	プライマー塗布後に除去(縁切材養生用)	プライマー塗布終了後	目 視	全 数	
7	混 練	混練時間	10分以上、15分以内	タイマーセット後	タイマー	全 数	
8	シーリング材の充填	空洞の有無	施工規定通りであること	充填時	目 視	全 数	
9	へら仕上げ	表面の平滑度	平滑であること	仕上げ時	目 視	全 数	
10	マスキングテープ除去	テープの有無	仕上げ後に除去すること(遮水壁養生用)	仕上げ終了後	目 視	全 数	
11	検 査	被着面への接着性	よく接着していること	施工2週間経過後	指 触 検 査	全 数	

施工後の検査として、表1に示すとおり指触検査を行い、シリコーン内の気泡やシリコーンと鋼製遮水壁の付着不良を確認することが可能となる。ただし、シリコーンと鋼製遮水壁の張出部の付着性がウレタンシリコーン目地の止水性能として最も重要であることを踏まえ、非破壊検査や引張試験（または圧縮試

験)を実施する。

シリコーンの表面(海側)に目視では確認できない傷があると、津波作用時にその小さな傷が拡大し、シリコーンが切れて止水性能を確保できなくなる可能性があるため、非破壊検査を行うことで、目視では確認できない傷を確認する。なお、非破壊検査で傷を確認した場合にはシリコーンを塗布することで補修する。

また、ウレタンシリコーン目地は実物を模擬した試験体を用いて耐圧試験により0.3(MPa)及び0.34(MPa)に耐えることを確認しているが、実施工でも同様の圧力に対して止水性能が発揮できることを確認する必要がある。そのため、止水性能として最も重要なシリコーンと鋼製遮水壁の付着性を確認する目的で、ウレタンシリコーン目地の施工後に、1つの目地(鋼製遮水壁と鋼製遮水壁の間の目地を指す)に対して、高さ方向に3箇所程度で引張試験(または圧縮試験)を実施し、シリコーンと鋼製遮水壁の付着が0.34(MPa)以上の耐圧性能を有していることを確認する。

(別紙) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工の構造詳細について

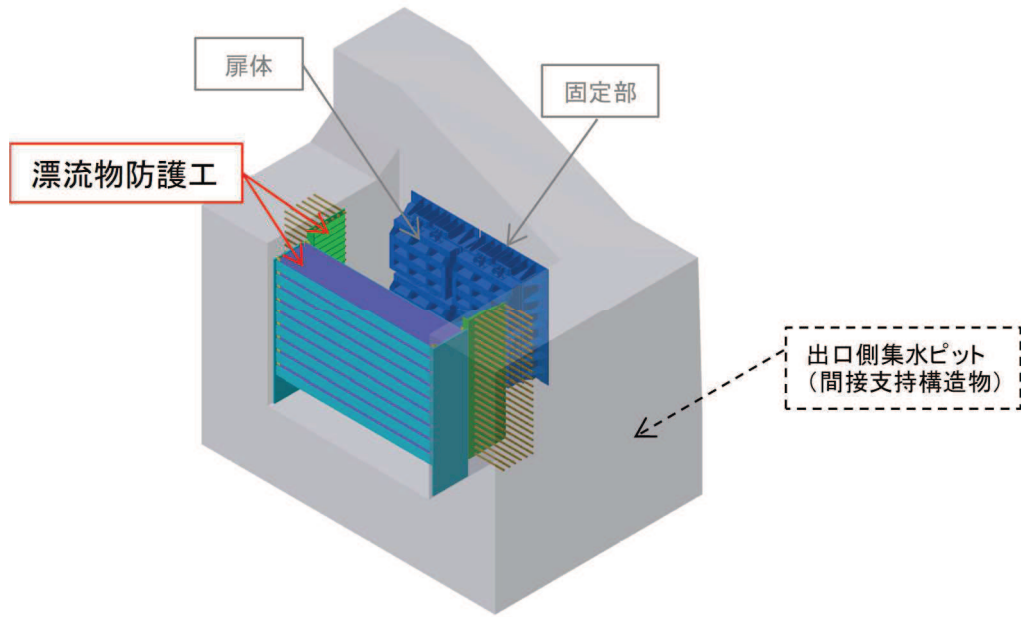
1. 構造概要

屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工は、屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の一部として扉体前面に設置し、扉体に直接漂流物を衝突させず、扉体に津波荷重のみが作用する構造とする。

漂流物防護工の使用材料を表 1-1 に、構造概要を図 1-1 に示す。

表 1-1 使用材料

部位		材質	仕様
漂流物防護工	防護梁	SM570	1-H-950x250x19/40 (母材) 2-PL-870x6x4780 (箱型断面用 PL) 2-PL-1050x40x350 (エンドプレート一般部) 2-PL-1050x40x1025 (エンドプレート最下段)
	ブラケット	SS400	PL-200x25x3600 (受台) PL-1100x25x4050 (ベースプレート) 20-PL-175x25x1100 (リブプレート)
	つなぎ材	強度区分 4.6	M20
	つなぎ材プレート	SM570	板厚 25mm
	アンカーボルト	SD345	D25



(鳥瞰図)

図 1-1(1) 構造概要図 (鳥瞰図)

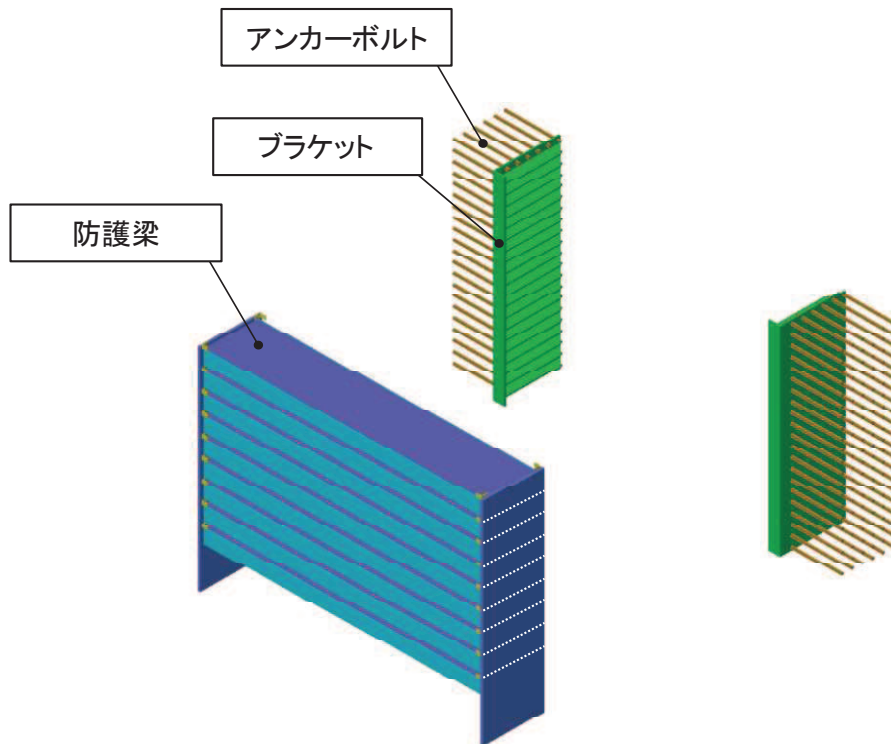


図 1-1(2) 構造概要図 (漂流物防護工)

2. 漂流物防護工

漂流物防護工の詳細を図 2-1～図 2-5 に示す。

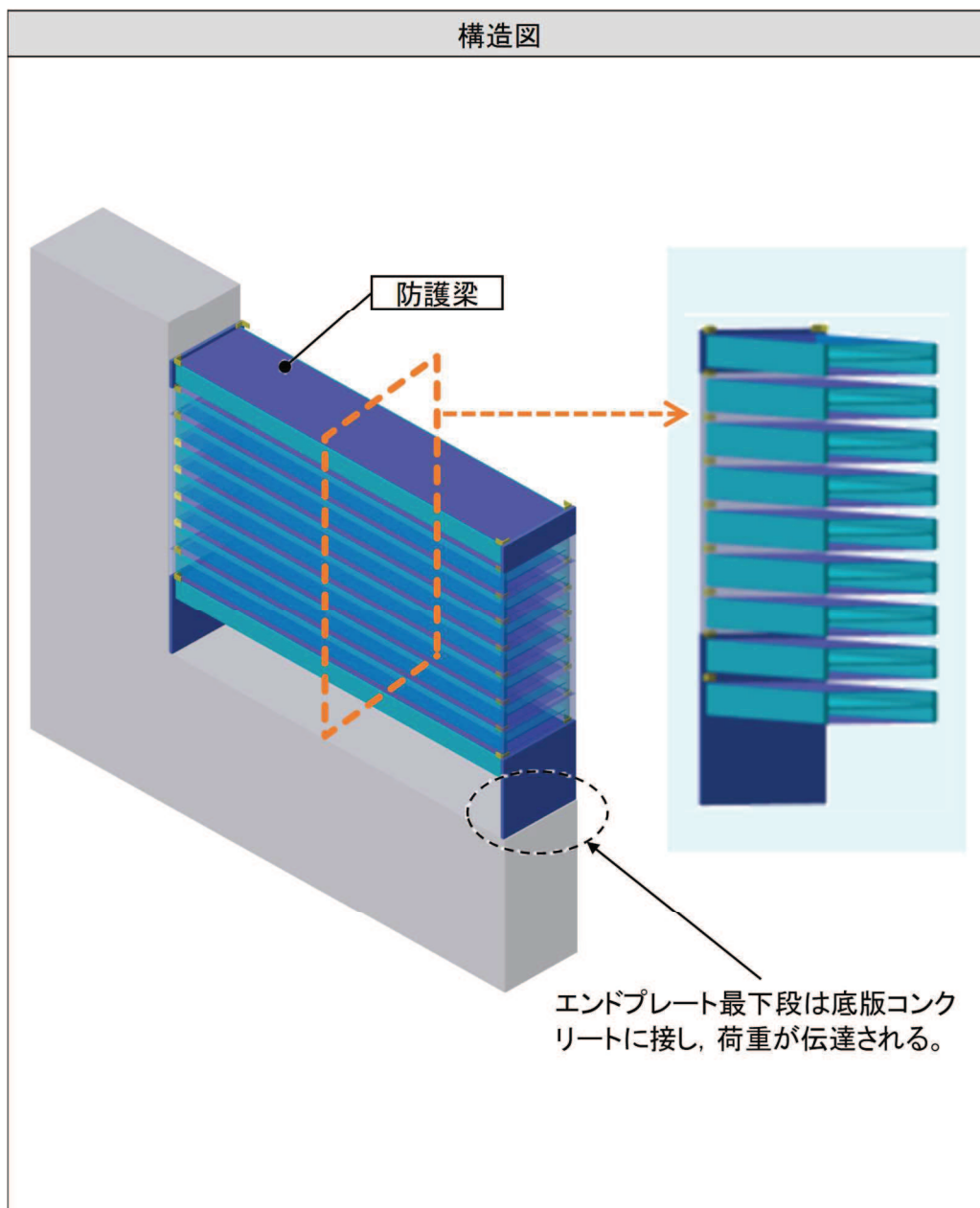


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の構造図

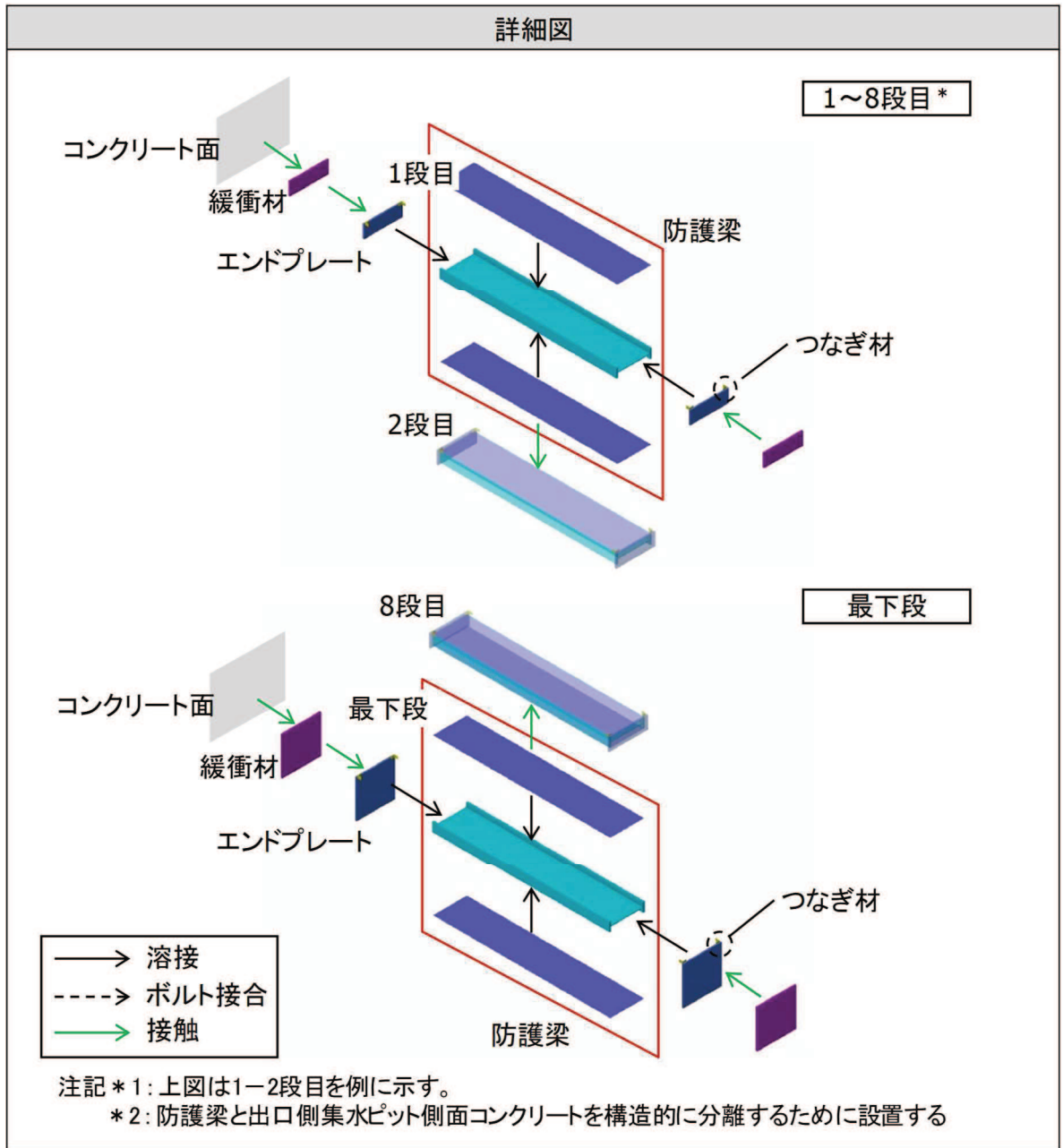


図 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の詳細図

構造図

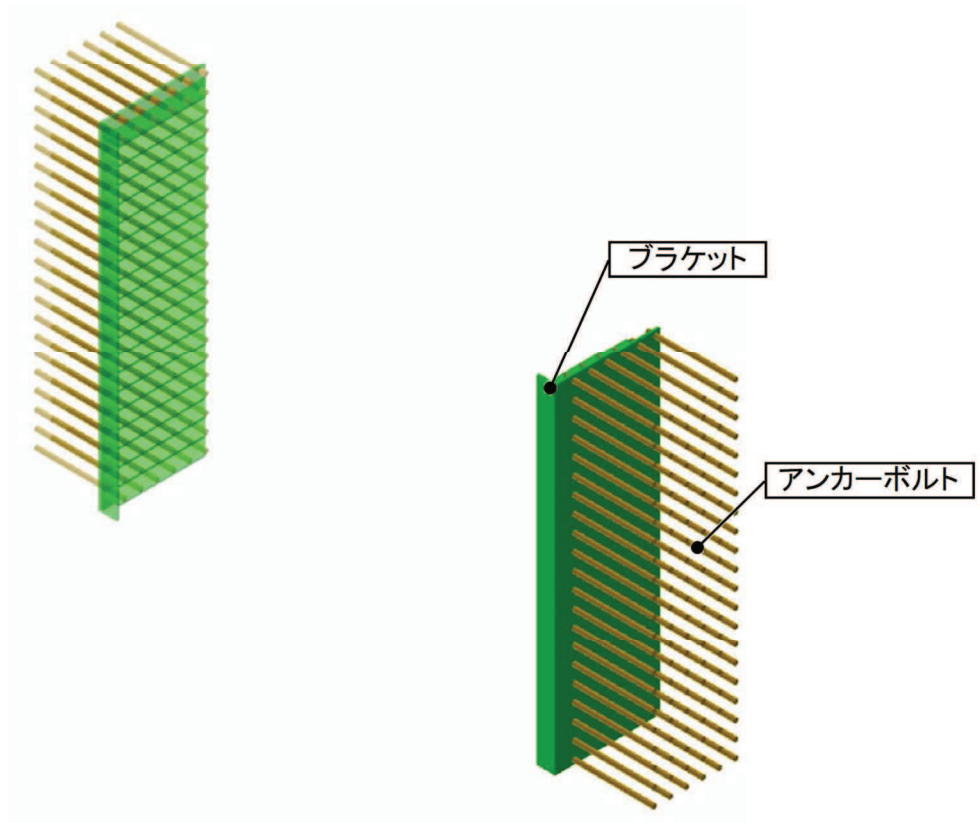


図 2-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の構造図

詳細図

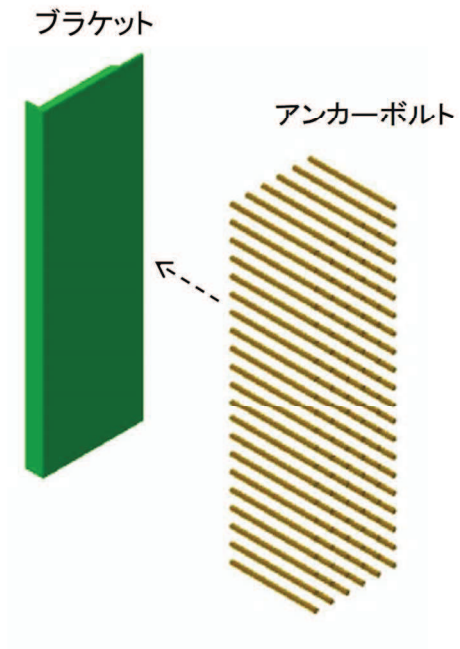


図 2-4 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の
詳細図

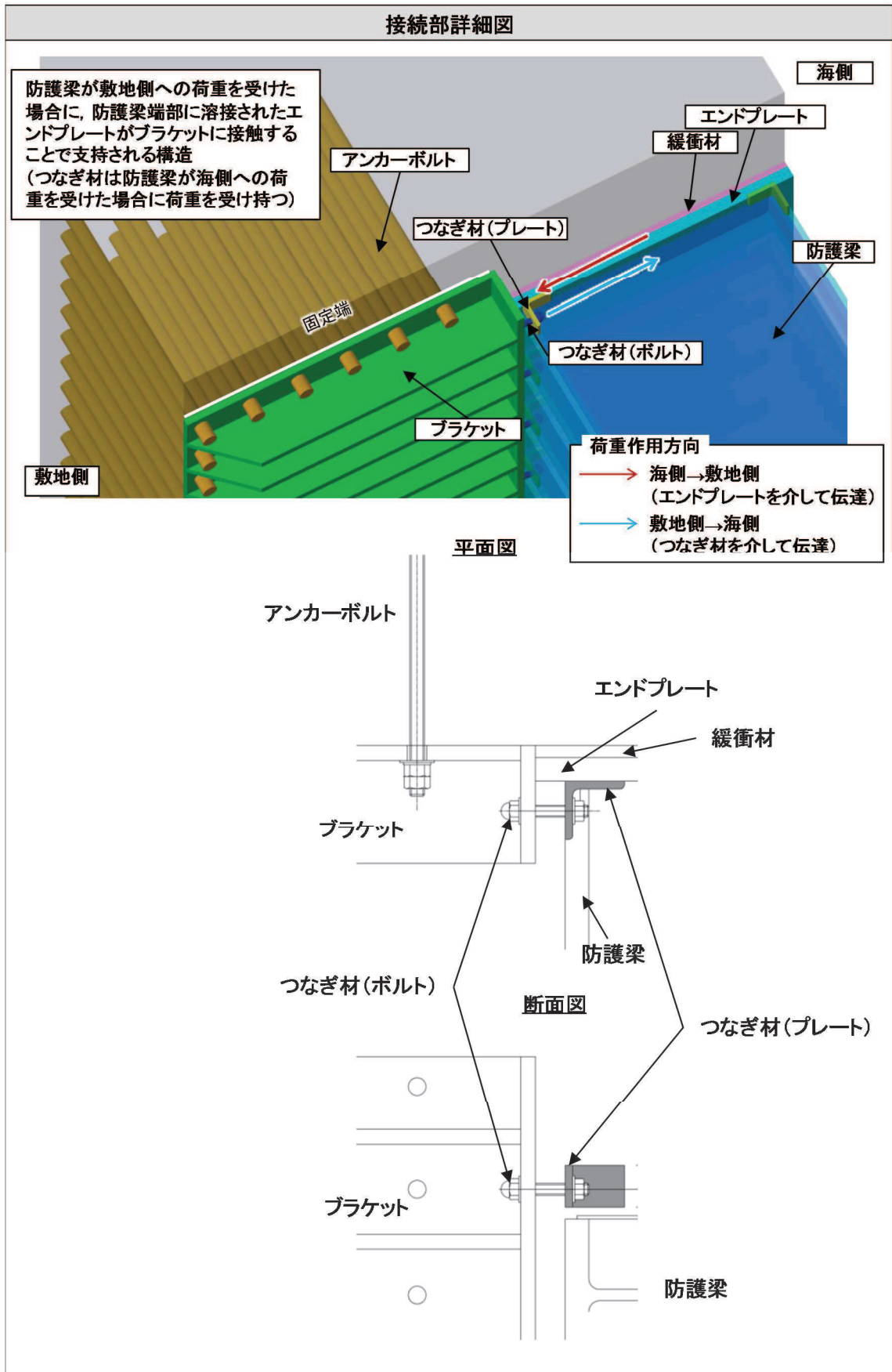


図 2-5 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の防護梁とブラケットの接続部詳細図

5. 荷重伝達経路

漂流物防護工の荷重伝達経路を図 5-1 に示す。

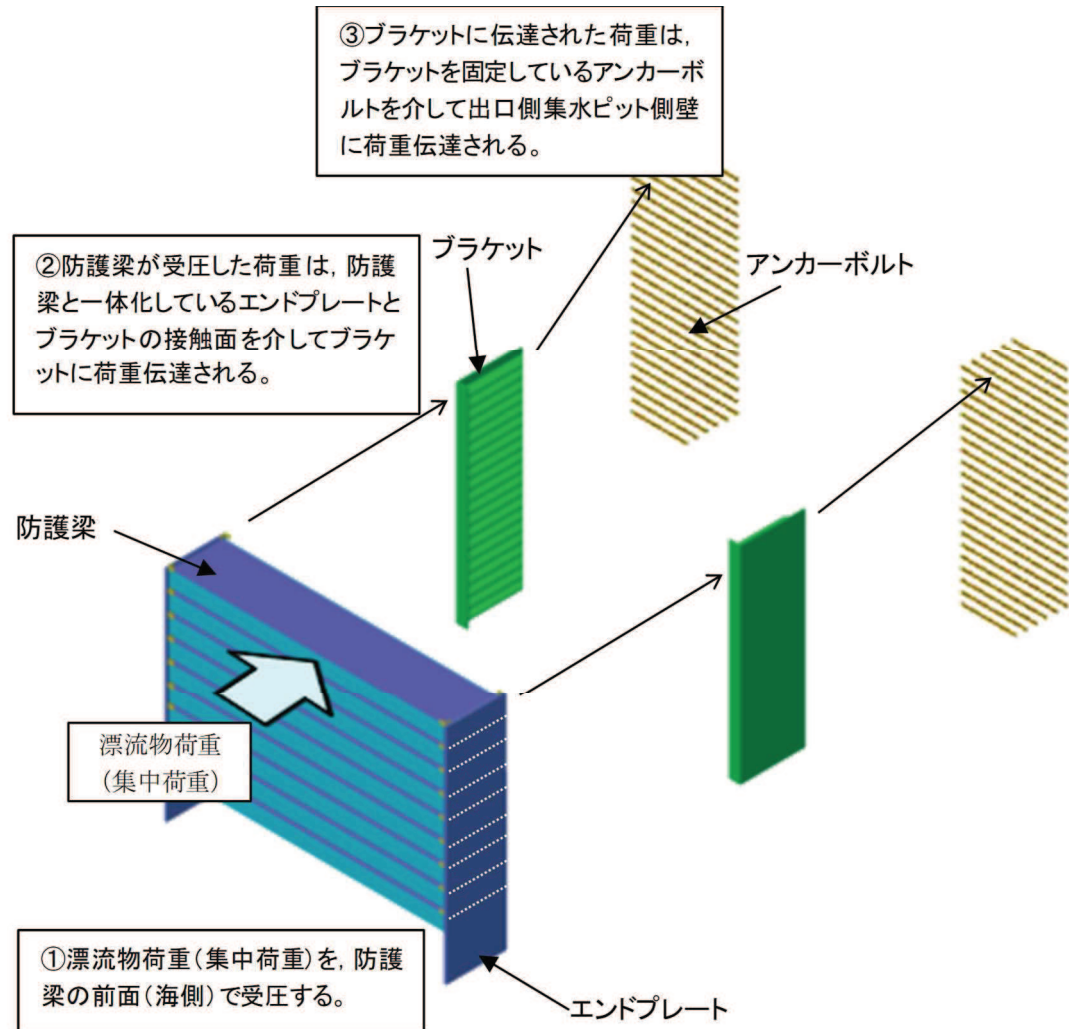


図 5-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の荷重伝達経路