

電気技術指針

原子力編

浸水防止設備技術指針

JEAG 4630-20XX

一般社団法人

日本電気協会

原子力規格委員会

浸水防止設備技術指針

目次

第1章 総則	1
1.1 目的	1
1.2 適用範囲	5
1.3 用語の定義	5
第2章 設計	8
2.1 要求性能	8
2.2 荷重条件	8
2.3 材料及び構造	8
2.4 性能評価	9
第3章 製作，現地据付工事	9
第4章 保全	9
附属書 A（参考） 水密扉	11
附属書 B（参考） 水密ハッチ	23
附属書 C（参考） 止水板	33
附属書 D（参考） 配管等貫通部に設けられる設備	43
附属書 E（参考） 浮体式フラップゲート	83
附属書 F（参考） 止水ダンパ	98
附属書 G（参考） ドレン逆流防止弁	109
附属書 H（参考） 通水扉	118
附属書 I（参考） 鋼製伸縮可とう継手	127
参考文献	139
参考資料 海外主要国における浸水防止に関する技術基準，対策事例並びに海外主要国及び 国内における溢水における対策事例	139
参表1 海外主要国における溢水の対策事例	139
参表2 国内における溢水の対策事例	139

第1章 総則

1.1 目的

浸水防止設備、浸水水位制御設備及び溢水量低減設備は、基準津波等により設計基準対象施設の安全性を損なわないように適切な位置に設置され、供用期間中はそれぞれ浸水防止機能、浸水水位制御機能及び溢水量低減機能を保持する。

本技術指針は、浸水防止設備、浸水水位制御設備及び溢水量低減設備に係る設計、製作及び現地据付工事並びに保全のうち点検を行うにあたり基本となる事項を示すことを目的とする。

【解説】

原子炉施設の耐津波設計の基本方針は、「重要な安全機能を有する施設は、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがある津波に対して、その安全機能を損なわない設計であること」であり、この基本方針に関して、以下の要求事項を満たす必要がある。

- (1) 津波の敷地への流入防止
- (2) 漏水による安全機能への影響防止
- (3) 津波防護の多重化

これらの要求事項のうち(1)及び(2)については、津波の敷地への浸水を基本的に防止するものである。(1)においては、敷地への浸水を防止するための対策を施すことも求めており、(2)においては、敷地への浸水対策を施した上でもなお漏れる水、及び設備の構造上、津波による圧力上昇で漏れる水を合わせて「漏水」と位置付け、漏水による浸水想定範囲を限定し、安全機能への影響を防止することを求めている。

(3)については、津波に対する防護を多重化するものであり、また、地震・津波の相乗的な影響や津波以外の溢水要因も考慮した上で安全機能への影響を防止するものである。

なお、(3)は、設計を超える事象に対して一定の耐性を付与するものでもある。

これらの具体的対策を講じるために、建屋水密バウンダリ及び建屋内水密バウンダリに浸水防止設備が設置されることになるが、設置する目的により解説表 1.1 浸水防護施設の区分、解説図 1.1 浸水防護施設の設置例に示すものに分類される。

止水性の維持が要求される設備は、地震時及び地震後において、構造強度の確保に加え、主要な構造体の境界部に設置する材料については、有意な漏えいが生じない変形に留めることで止水性を維持する設計とする必要がある。

本技術指針の 2016 年版では、〔(一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程 (JEAC4629-2014) ⁽¹⁾「第 4 章 津波防護施設・浸水防止設備の耐津波設計」の「4.4 個別施設の設計基準」のうち「4.4.2.2 建屋水密バウンダリとなる設備(水密扉, 配管貫通部等)」及び「4.4.2.3 建屋内水密バウンダリとなる設備 (水密扉, 配管貫通部等)」〕に係る設計, 製作及び現地据付工事並びに保全のうち点検を行うにあたり基本となる事項をより具体的に示すことを目的とした。また, 2016 年版では, 上記浸水防止設備が, 設置以降, 機能の確認を行うことが困難である設備の特徴を考慮して, 設計から, 供用開始後の点検の各段階における基本的事項を定めた。

今回 201X 年版の改定では, 2016 年版での浸水防止設備に水密ハッチ, 止水板, 浮体式フラップゲート, 配管貫通部等に空調ダクトの貫通部を追加することに加えて, 浸水の伝播を阻止する目的で設置される止水ダンパ及びドレン逆流防止弁を対象設備とするとともに, これらの浸水防止設備が津波防護のみならず, 内部溢水防護にも用いられていることから, 内部溢水事象も本技術指針において扱うこととした。なお, 「基準津波等」としたのは, 浸水防止設備が耐津波設計上のみならず, 内部溢水防護上も有効な設備であることによる。

内部溢水防護においては, 浸水防止機能のみならず, 水を所定のエリアに導く, あるいは, 溢水量を低減させるといった浸水水位を制御する機能も要求される。そういった要求に対する設備の例として通水扉及び鋼製伸縮可とう継手があり, 本技術指針の改定において扱うこととした。

なお, 参表 2 に国内における溢水の対策事例をまとめた。

本技術指針に基づき実施される設計, 製作及び現地据付工事並びに保全の各役務は, 「原子力安全のためのマネジメントシステム規程 (JEAC4111-2013) ⁽¹³⁾」及び「原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209-2016) ⁽¹⁴⁾」に基づき実施されることを前提としており, 本技術指針として特記すべき事項について追加的に記述している。

解説表 1.1 浸水防護施設^{※1}の区分

区分	(1) 外郭防護 1		(2) 外郭防護 2	(3) 内郭防護
分類	津波防護施設	浸水防止設備	浸水防止設備	浸水防止設備
設置例	<ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤 ・防護壁 	<ul style="list-style-type: none"> ・防護壁 ・水密扉① ・水密ハッチ① ・浮体式フラップゲート① ・配管等貫通部① ・ドレン逆流防止弁① 	<ul style="list-style-type: none"> ・水密扉② ・水密ハッチ② ・浮体式フラップゲート② ・配管等貫通部② ・止水ダンパ② ・ドレン逆流防止弁② 	<ul style="list-style-type: none"> ・水密扉③ ・水密ハッチ③ ・浮体式フラップゲート③ ・止水板③ ・配管等貫通部③ ・止水ダンパ③ ・ドレン逆流防止弁③
適用	適用外	防護壁を除き本技術指針の適用		

※1：実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則（昭和五十三年十二月二十八日通商産業省令第七十七号），平成二十九年十二月十四日原子力規制委員会規則第十六号（以下「炉規則」という。）別表第二による区分

(1) 外郭防護 1（津波の敷地への流入防止）

耐津波 S クラスに属する施設の設置された敷地において，基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させないこと，また，取水路及び排水路等の経路から流入させないことを目的に設置されるものである。

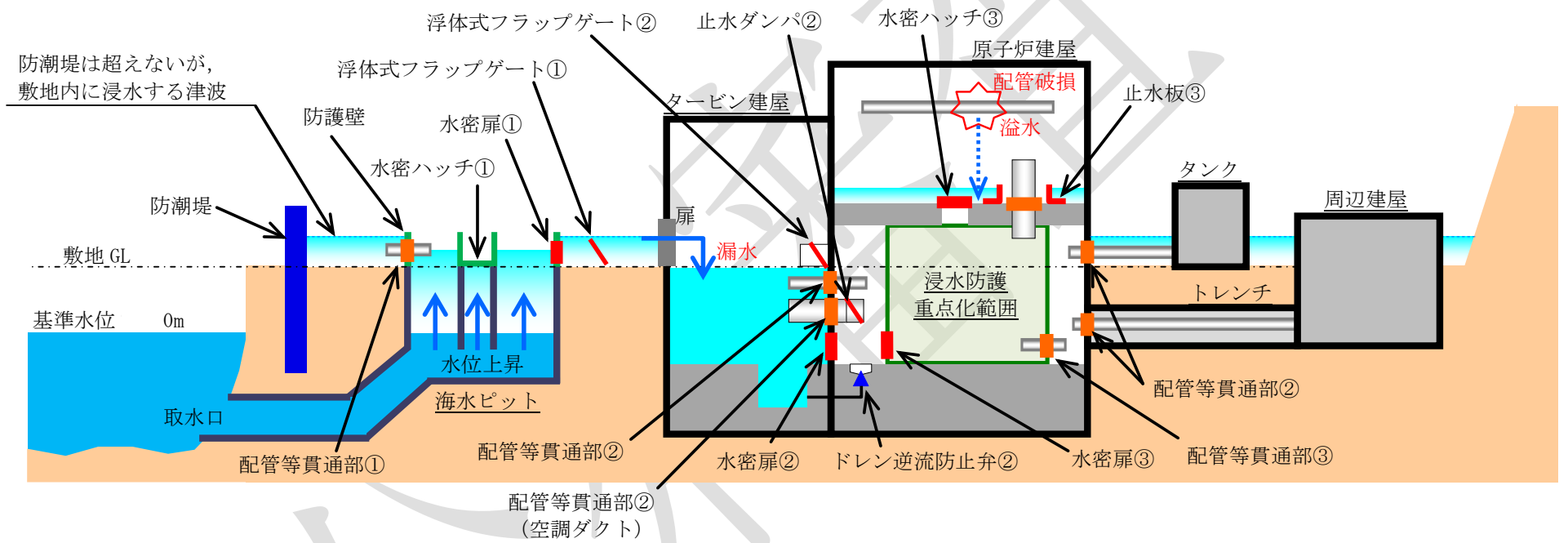
(2) 外郭防護 2（漏水による安全機能への影響防止）

取水・放水施設及び地下部等において，漏水する可能性を考慮の上，漏水による浸水想定範囲を限定して，重要な安全機能への影響を防止することを目的に設置されるものである。

(3) 内郭防護（津波防護の多重化）

上記の(1)(2)に規定するものの他，耐津波 S クラスに属する施設については，浸水防護をすることにより津波による影響等から隔離することを目的に設置されるものである。なお，耐津波 S クラスに属する設備を内包する建屋及び区画に対して，浸水防護重点化範囲として明確化するとともに，津波による溢水を考慮した浸水想定範囲及び浸水量を保守的に想定した上で，浸水防護重点化範囲への浸水の可能性のある経路及び浸水口（扉，開口部及び貫通口等）を特定し，それらに対して浸水対策を施すものである。

注) 炉規則別表第二における浸水防護施設の区分は上記(1)～(3)のとおりであるが，本技術指針においては内部溢水防護上の浸水防止設備も適用対象としている。



解説図 1.1 浸水防護施設の設置例

1.2 適用範囲

本技術指針は、原子炉施設の浸水防止設備のうち、水密扉、水密ハッチ、止水板、浮体式フラップゲート、配管等貫通部（建屋躯体の配管、空調ダクト、電路貫通部）に設けられる設備、止水ダンパ及びドレン逆流防止弁に適用する。

また、本技術指針は、浸水水位制御設備としての通水扉及び溢水量低減設備としての鋼製伸縮可とう継手にも適用する。

【解説】

本技術指針は、浸水防止設備、浸水水位制御設備及び溢水量低減設備の設計、製作、現地据付工事、点検を行う際の基本事項を示している。

また、要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を附属書（参考）に示している。

1.3 用語の定義

・原子炉施設

陸上の発電用軽水型原子炉施設

・設計基準対象施設

発電用原子炉施設のうち、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の発生を防止し、又はこれらの拡大を防止するために必要となるもの

・基準津波

施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、耐津波設計上重要な施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な津波

・津波防護施設

護岸、防潮堤、防潮壁、建屋内・外壁、床等の、津波の遡上や流入、浸水を防止するための建物・構築物

なお、護岸は敷地が高いことの確認、建屋の壁・床はそれ自体が浸水防止機能を有していることに加え、浸水防止設備の間接支持構造物としての取り扱いが行われているもの

・浸水防止設備

水密扉、水密ハッチ、止水板、浮体式フラップゲート、配管・空調ダクト・電路貫通部の止水構造等の、津波等に対する障壁を形成する建物・構築物と一体となって浸水を防止するための設備、機器等、ならびに、浸水の伝播を阻止する目的で設置される止水ダンパ及びドレン逆流防止弁

- ・浸水想定範囲

取水・放水施設及び地下部等からの漏水による浸水が想定される範囲

- ・耐津波 S クラス

津波により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能損失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能損失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの

- ・浸水防護重点化範囲

耐津波 S クラスの施設を内包する建屋及び建屋内の区画（機器室等）

- ・建屋水密バウンダリ

浸水防護重点化範囲が、建屋外壁に沿って施された浸水を防止する境界である場合、その境界のこと

- ・建屋内水密バウンダリ

浸水防護重点化範囲が、建屋内の区画壁に沿って施された浸水を防止する境界である場合、その境界のこと

- ・溢水

発電所内に施設される機器の破損による漏水又は原子炉格納容器スプレイ及び消火栓等の系統の作動による放水が原因で、系統外に放出された流体。溢水は、滞留水、流水（蒸気を含む）の形態で存在するもの

- ・溢水防護区画

溢水の影響から防護すべき安全設備が設置されている区画のうち、障壁、堰、又はそれらの組み合わせによって他の区画と分離され、溢水防護の見地から1つの単位と考えられる区画

- ・浸水水位制御設備

浸水防護区画並びに放射線管理区域と非管理区域の境界となる区画の溢水による浸水水位を一定の高さ以下に制限するための設備

- ・溢水量低減設備

溢水が想定される箇所の溢水量を低減させることを目的に、既存の設備と置き換えることが可能な設備

- ・耐水圧性能

津波による動水圧や、滞留水による静水圧に対し、設備の健全性が維持される性能

- ・浸水抑制性能

浸水防護の観点から設定される許容漏水量以下に抑えられる性能

日本製鋼所

第2章 設計

2.1 要求性能

要求される浸水防止機能，浸水水位制御機能及び溢水量低減機能を満足させるため，具体的な要求を定める。

2.2 荷重条件

浸水防止設備，浸水水位制御設備及び溢水量低減設備に作用する荷重の種類，荷重を受ける位置及び荷重の方向を考慮し，条件を定める。

【解説】

浸水防止設備の設計において必要となる荷重条件は，(一社)日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2015)⁽²⁾及び(一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程(JEAC4629-2014)⁽¹⁾の評価方法，解説表 2.1 浸水防護施設の荷重の例を考慮して決定することが望まれる。特に，外郭浸水防護設備は，地震，津波による荷重と自然現象による荷重(降雪，風，高潮，台風，豪雨)を考慮する。

解説表 2.1 浸水防護施設の荷重の例

対象 起因	外郭浸水防護設備 (外郭防護 1)	外郭浸水防護設備 (外郭防護 2)	内郭浸水防護設備
地震	・本震(基準地震動)による荷重	・本震(基準地震動)による荷重	・本震(基準地震動)による荷重
津波	・取水路，放水路等の経路からの津波による荷重 ・余震による地震荷重及び動水圧荷重 ・漂流物による衝突荷重	・取水路，放水路等の経路からの津波による静水圧荷重 ・余震による地震荷重及び動水圧荷重	・機器の破損箇所を介して流入する津波による静水圧荷重 ・余震による地震荷重及び動水圧荷重

2.3 材料及び構造

材料及び構造は，浸水防止設備，浸水水位制御設備及び溢水量低減設備に特有の使用条件等を考慮して，想定される条件下でも要求性能を満足するように選定する。

【解説】

運転情報として、新規制基準適合に係る工事期間中に設置された水密扉において、工事期間中の極端に高い頻度の扉開閉と内部部品（ロック機構）形状に起因する応力集中の組合せで、内部部品が耐用年数を大幅に下回る年数で疲労破壊した事例があるため、使用条件の想定においては、これに留意する必要がある。

2.4 性能評価

浸水抑制性能、浸水水位制御性能及び溢水量低減性能が発揮できることを、原則、性能試験で確認するが、試験できない場合には解析にて確認する。

【解説】

性能評価を目的に実施する性能試験等は、（一社）日本電気協会：原子力安全のためのマネジメントシステム規程（JEAC4111-2013）⁽¹³⁾の「7.3.5 設計・開発の検証」に該当する。

第3章 製作、現地据付工事

浸水防止機能、浸水水位制御機能及び溢水量低減機能を満足させるため、材料、構造、強度等が設計仕様に適合するように、製作段階、現地据付工事段階において管理すべき項目を明確にする。

【解説】

浸水防止設備、浸水水位制御設備及び溢水量低減設備の製作、現地据付工事に際しては、要求性能を満足させるため、製作及び現地据付工事期間中における検査項目、検査方法、判定基準等を明確にした上で、これらが確実に実施されていることを確認することが望ましい。

なお、この確認行為は、（一社）日本電気協会：原子力安全のためのマネジメントシステム規程（JEAC4111-2013）⁽¹³⁾の「7.3.6 設計・開発の妥当性確認」に該当する。

第4章 保全

浸水防止機能、浸水水位制御機能及び溢水量低減機能を維持できるよう、予め保全方式を選定し、その方法並びに実施頻度及び時期を定めた計画を策定し、実施する。

【解説】

（一社）日本電気協会：原子力発電所の保守管理規程（JEAC4209-2016）⁽¹⁴⁾では供用期間中に事業者が実施すべき保守管理の基本的要件を定めており、本技術指針においても同規程に従い浸水防止設備、浸水水位制御設備及び溢水量低減設備の特性を踏まえた設備保全を実施する。

止水パッキンの劣化や損傷は浸水抑制性能に直接影響を与えるため、止水パッキンの交換時期については、浸水防止設備の設置環境、開閉頻度等を踏まえ、予め定めた頻度で取替えを行うこと、加えて、損傷等の可能性を踏まえ、定期的に点検を行うことが望ましい。

通水扉（小扉）の作動抵抗増大は浸水水位制御機能に直接影響を与えるため、定期的に点検を行うことが望ましい。鋼製伸縮可とう継手の隙間寸法増加は溢水量低減機能に直接影響を与えるため、定期的に点検を行うことが望ましい。

また、保全計画を定めるにあたっては、時間基準保全と止水材である高分子材料の劣化特性を把握した状態基準保全を組み合わせていくことが重要である。

将来的にはリスク情報に基づき保全計画を定めていくことが有効であるが、それまでの間は、雨水等の浸水経路上の止水部の健全性確保をより確実に実施していくことも重要である。

本指針附属書に記載している点検内容、点検頻度、検査内容等は例示であり、設備仕様、点検実績等に基づき事業者ごとに定め、点検結果の蓄積、最新知見の収集により、継続的に適正化を図ることが望ましい。

なお、運転情報として、新規制基準適合に係る工事期間中に設置された水密扉において、工事期間中の極端に高い頻度の扉開閉をした結果、内部部品が耐用年数を大幅に下回る年数で疲労破壊した事例があるため、保全計画を定めるにあたっては、使用条件、起こり得る故障等に留意する必要がある。

附属書 A (参考) 水密扉

建物の扉に設けられる設備で浸水防止機能を有する設備である。

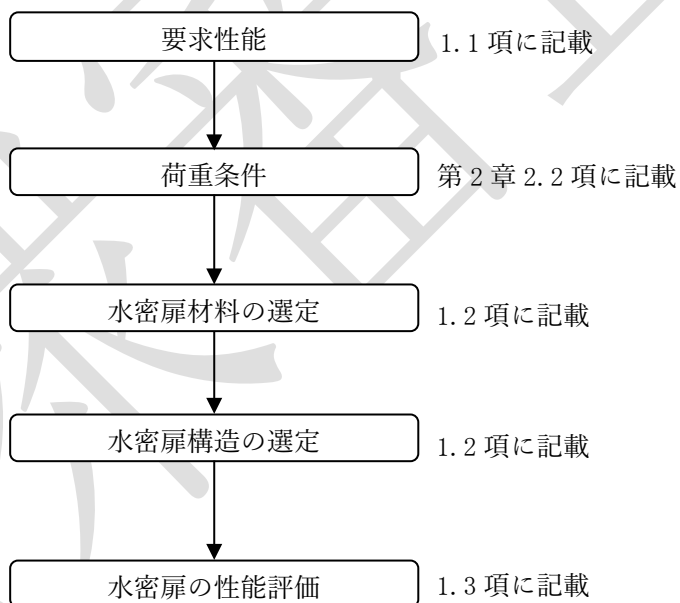
原子炉施設に設けられる水密扉には、浸水防止機能以外にも、防火機能、防護機能、気密機能、開閉機能等が要求されるものがあるが、本技術指針では、浸水防止の機能担保について示す。

なお、大型搬入口等の前面に配置されている波圧扉、水圧が作用することで機能が担保される水門扉は適用外としている。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

水密扉は、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図 1 に水密扉の設計手順を示す。



解説図 1 水密扉の設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。耐水圧性能では、繰り返しの津波を考慮する。

なお、水密扉における浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さ、浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

1.2 材料及び構造

(使用条件)

水密扉の構造部材及び止水パッキンは、開閉頻度や環境条件等の使用条件を考慮した上で材料選定を行う必要がある。例えば、飛来塩分の影響を受ける場所では、構造部材は発錆による特性変化がないような材料を選定する等の配慮が必要である。

(材料)

構造部材は、以下に示す関連規格、適切と認められる規準等に基づき許容応力度を設定する。

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019⁽³⁾

(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010⁽⁴⁾

(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001⁽⁵⁾

止水パッキンは、使用条件、荷重条件等を考慮した上で適正な材料を選定する。

(構造)

耐震性能、耐水圧性能を付与するためには、水密扉に作用する荷重の伝わり方に即した評価対象部材を選定した上で、それらの発生応力、変形が使用材料の許容応力度に対して十分な余裕を有する構造（設計）とし、荷重が作用した場合でも、おおむね弾性範囲を超えないことを確認する。

(構造計画)

水密扉の構造部材を確認した上で評価対象部材を選定する。例えば、水密扉に作用する津波荷重が、扉板から芯材に伝わり、扉枠を躯体に固定するアンカーボルトを介し、躯体に伝達される場合には、評価対象部材は、扉板、芯材及びアンカーボルトとなる。水密扉に作用する地震力が、ヒンジ及びカンヌキから、扉枠と躯体を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達される場合には、評価対象部材はヒンジ、カンヌキ、アンカーボルトとなる。

なお、扉枠については、荷重等をアンカーボルト等へ伝達されるため荷重が作用すると考えられるものの、アンカーボルト等の破断等が生じない限り発生する応力は僅かであるため評価は不要とする。また、耐震性能の評価を行う際には、水密扉の開閉状態（閉鎖、開放）を考慮すること、寸法公差、施工時の据付精度については、(社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 建具工事 JASS16, 2008⁽⁷⁾、(一社)電力土木技術協会：水門鉄管技術基準、-付解説-, 2015⁽⁸⁾等を参考に設計で管理値を決定することが望ましい。

浸水抑制性能を維持するためには、水密扉に荷重が作用した場合でも、止水パッキンと扉がずれないように配慮する。

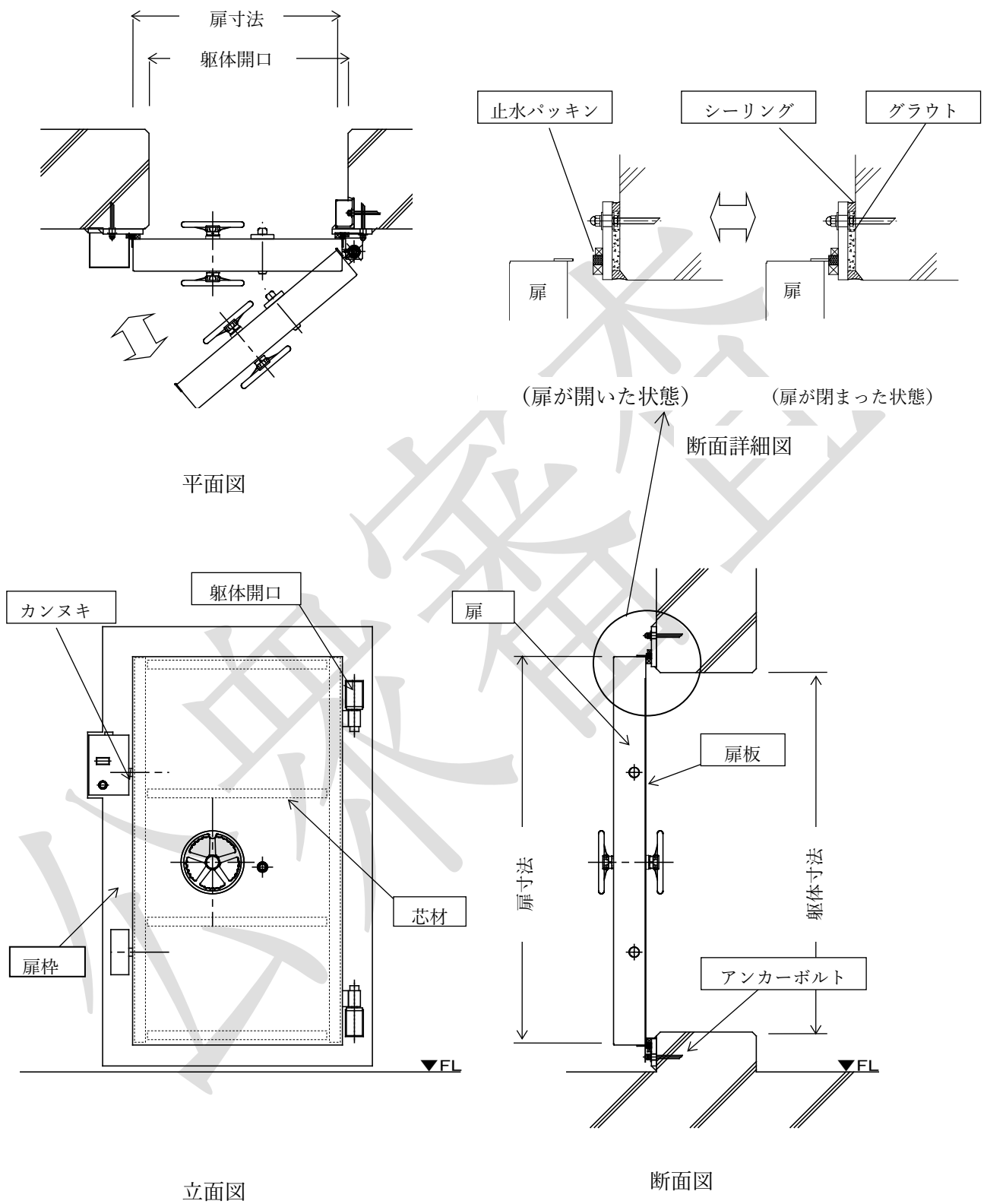
なお、水密扉が取り付く躯体は、水密扉の支持機能が維持されるよう設計する。

(水密扉の構造例)

水密扉は、扉（扉板、芯材）、カンヌキ、ヒンジ、止水パッキン等で構成されており、アンカーボルト、埋込金物で躯体に固定されている。解説図 2 に水密扉の設置（既設改造）の例、解説図 3 に水密扉の構造部材配置（既設改造）の例を示す。



解説図 2 水密扉の設置（既設改造）の例



解説図 3 水密扉の構造部材配置 (既設改造) の例

1.3 性能評価

水密扉に要求される性能のうち、耐震性能、耐水圧性能については、荷重が作用した場合でも、水密扉の構造部材が、おおむね弾性範囲内に設定されていることで要求性能を満足していることが確認できる。

浸水抑制性能を評価する許容漏水量は、水密扉の性能評価を行う上での重要な項目であるため、性能試験による検証が望まれる。

水密扉が取り付けられるコンクリート壁等は剛性が高いため、地震を想定した加振と津波を想定した加圧の重畳を想定した試験ではなく、剛な試験装置で変形を抑えて試験する方法も有効である。よって、工場等での性能試験、模擬体での試験、部分的な実大模擬体モデルによる試験も有効であり、供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

性能試験では、実際に作用する動的荷重と同等の静的荷重で代替することも可能である。

なお、同等の静的荷重を設定する際には、(一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程(JEAC4629-2014)⁽¹⁾が参考となる。

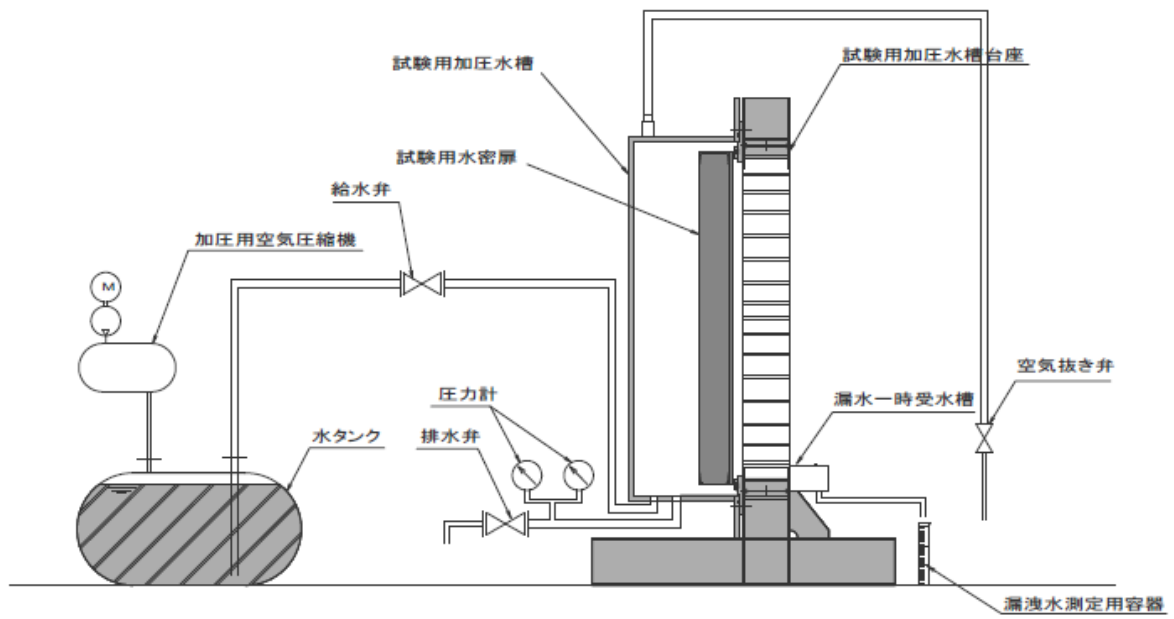
解説図4-2-1に水密扉の性能試験の例、解説図5に水密扉の性能試験系統図の例を示す。



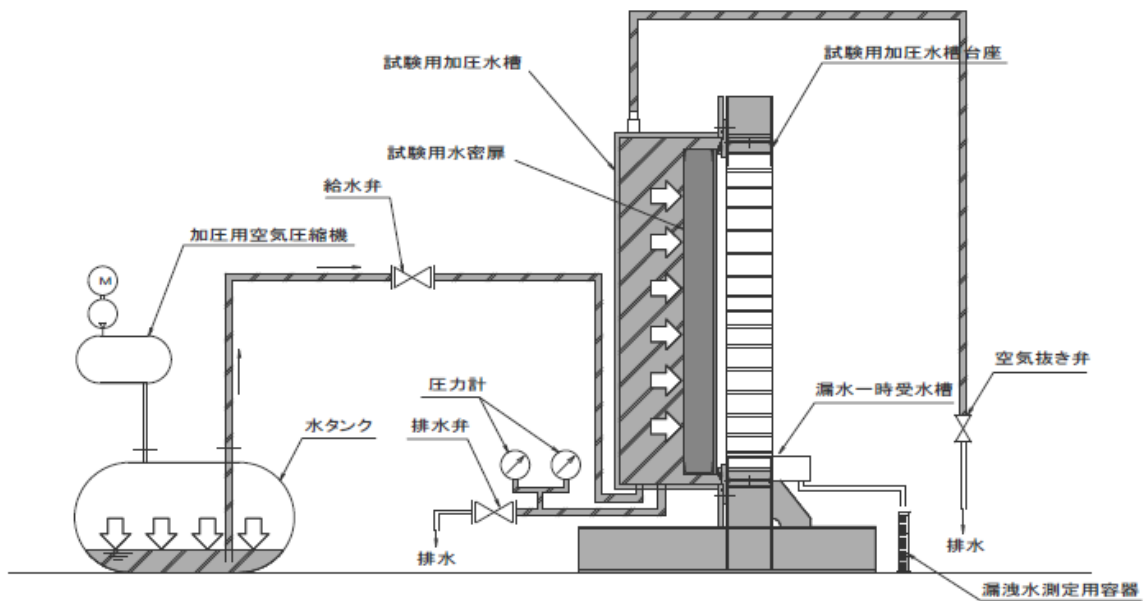
解説図4 水密扉の性能試験の例

(関連文献)

- ・後藤省一, 清水 明, 水越一晃, 穴吹拓也：せん断力を受ける RC 造耐震壁に設置した水密扉の水密性能試験 (その1 試験の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015年9月
- ・水越一晃, 穴吹拓也, 後藤省一, 萩尾浩也, 増田安彦, 清水 明：せん断力を受ける RC 造耐震壁に設置した水密扉の水密性能試験 (その2 試験の結果及び考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015年9月
- ・穴吹拓也, 水越一晃, 萩尾浩也, 増田安彦：せん断力を受ける RC 造耐震壁に設置した水密扉の水密性能試験 (その3 三次元有限要素解析), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015年9月



加圧前（試験前）



加圧中（試験中）

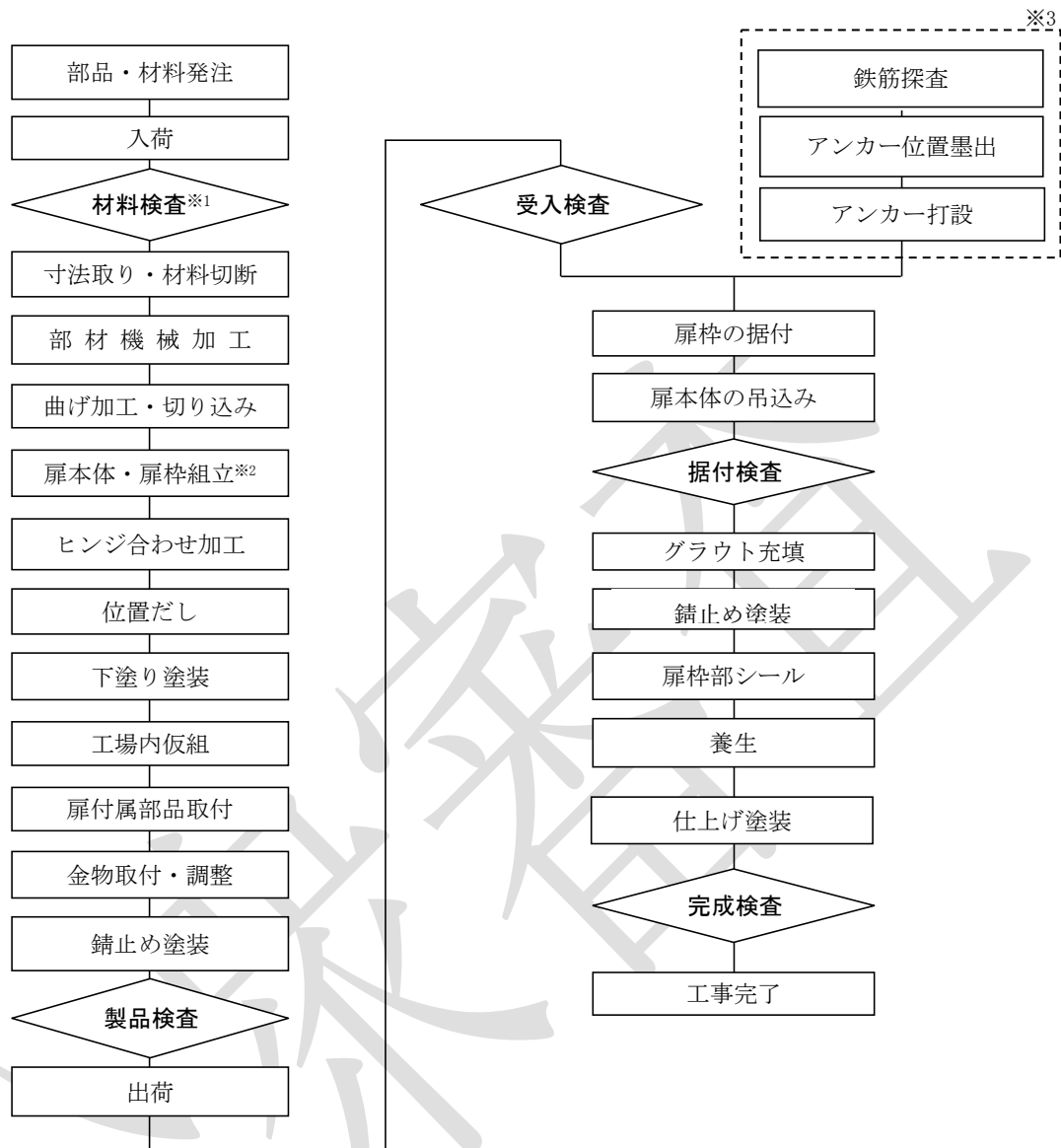
解説図 5 水密扉の性能試験系統図の例

2. 製作, 現地据付工事

水密扉の製作, 現地据付工事に際しては, 要求性能を満足させるため, 製作及び現地据付工事期間中における検査項目, 検査方法, 判定基準等を明確にした上で, 確実に実施されていることを確認することが望ましい。以下に製作, 現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では, 評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では, 評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり, 設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については, (社)日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16, 2008⁽⁷⁾, (一社)電力土木技術協会: 水門鉄管技術基準, -付解説-, 2015⁽⁸⁾等より決められた管理値内であることを確認する。また, 水密扉における止水バウンダリのうち, 製作段階で隠蔽部になる溶接部については, 製作期間中での検査を行う。
- (3) 受入検査では, 工場から出荷されたものが, 水密扉の要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では, 水密扉が設計で定めた寸法内で所定の位置に据付けられていることを確認する。据付精度については, (社)日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16, 2008⁽⁷⁾, (一社)電力土木技術協会: 水門鉄管技術基準, -付解説-, 2015⁽⁸⁾等より決められた管理値内であることを確認する。
- (5) 完成検査では, 水密扉の要求性能に影響を与える変形等がないことを確認する。また, 水密扉における止水バウンダリのうち, 現地据付工事で取り付ける止水パッキンについては, 当り検査を行い, 止水パッキンの当りに問題がないことを確認する。当り検査の方法については, チョークテスト, 検査紙テスト, すきまゲージテスト等から適切な方法を選択して実施する。

解説図 6 に水密扉の製作, 現地据付工事フローの例, 解説図 7 に水密扉の製品検査の実施状況, 解説図 8 に水密扉の据付検査の実施状況, 解説図 9 に水密扉の完成検査の実施状況を示す。また, 解説表 1 に水密扉の検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：出荷時に確認できない箇所がある場合、必要に応じて製品検査を実施する。

※3：既設構造物に設置する場合、必要に応じて実施する。

解説図 6 水密扉の製作，現地据付工事フローの例



扉寸法



扉枠寸法

解説図7 水密扉の製品検査の実施状況



据付位置



扉の倒れ

解説図8 水密扉の据付検査の実施状況



止水パッキンの当り
(チョークテスト)



止水パッキンの当り
(検査紙テスト)

解説図9 水密扉の完成検査の実施状況

解説表 1 水密扉の検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
	止水パッキン	出荷証明書	設計で定めた材料であること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
	止水 バウンダリ	非破壊検査, 目視	浸水抑制性能を担保する止水バウンダリの溶接に欠陥がないこと
受入検査	水密扉	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	水密扉	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査 ※2	水密扉	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
	止水パッキン	当り検査	止水パッキンが扉及び扉枠と密着していること

※1：評価対象部材：扉板、芯材、ヒンジ、カンヌキ等

※2：立会い若しくは記録確認

3. 保全

水密扉は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

止水パッキンの交換に際しては、設計図に定められた正規の止水パッキンと同等の性能を有するものを使用し、据付時に実施する完成検査のうち、止水パッキンの当り確認と同等の検査（チョークテスト、検査紙テスト、すきまゲージテスト等）を実施し、止水パッキンが密着していることを確認する。解説表2に水密扉の点検の例を示す。

解説表2 水密扉の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂, 大きなへこみがないことを確認	目視
扉板, ヒンジ, カンヌキ等	1回/年	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視

4. 運転情報

水密扉に関しては、以下の運転情報がある。

- (1) 原子力規制委員会 第37回 技術情報検討会資料 「水密扉ロック機構不良」(案)
- (2) NUCIA 通番 12515 「柏崎刈羽原子力発電所 6/7号機コントロール建屋非管理区域連絡通路 水密扉の上部ヒンジ部動作不能について」
- (3) NUCIA 通番 12518 「柏崎刈羽原子力発電所第5号機 原子炉建屋1階南西側入口水密扉ロック機構不良について」
- (4) NUCIA 通番 12960 「シャフト機構折損による水密扉故障」
- (5) NUCIA 通番 12967 「駆動部連結シャフト破断による水密扉故障」

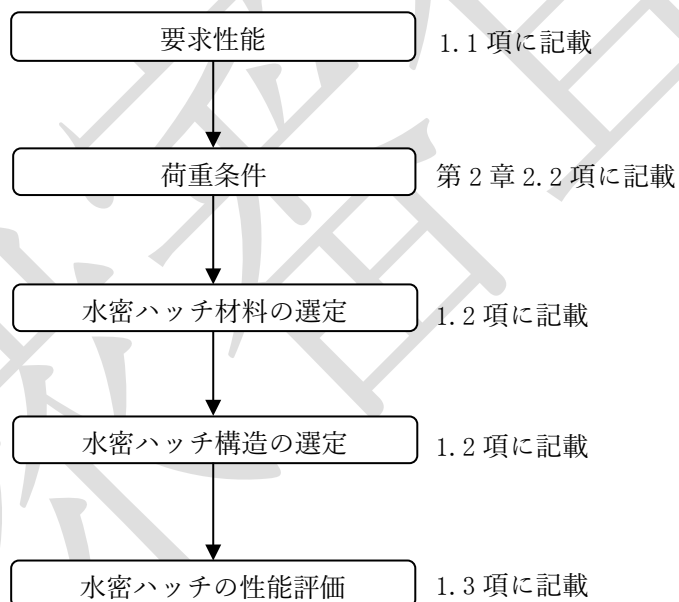
附属書 B (参考) 水密ハッチ

津波等による下方向又は上方向からの水圧に対して浸水防止機能を有する設備である。海水ピット等の立坑に設けられるものは下方向から、建屋内の点検用ハッチ等に設けられるものは上方向から水圧を受ける。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

水密ハッチは、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図 1 に水密ハッチの設計手順を示す。



解説図 1 水密ハッチの設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。耐水圧性能では、繰り返しの津波を考慮する。

なお、水密ハッチにおける浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さ、浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

1.2 材料及び構造

(使用条件)

水密ハッチの構造部材及び止水パッキンは、環境条件を考慮した上で材料選定を行う必要がある。例えば、飛来塩分の影響を受ける場所では、構造部材は発錆による特性変化がないような材料を選定する等の配慮が必要である。

(材料)

構造部材は、以下に示す関連規格、適切と認められる規準等に基づき許容応力を設定する。

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019⁽³⁾

(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010⁽⁴⁾

(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001⁽⁵⁾

(一社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格）^{(9) (10) (11) (12)}

止水パッキンは、使用条件、荷重条件等を考慮した上で適正な材料を選定する。

(構造)

耐震性能、耐水圧性能を付与するためには、水密ハッチに作用する荷重の伝わり方に即した評価対象部材を選定した上で、それらの発生応力、変形が使用材料の許容応力に対して妥当な余裕を有するような仕様とし、荷重が作用した場合でも、浸水防止機能に影響を与えるような過度の変形が発生しないこと、すなわち、おおむね弾性範囲を超えないことを確認する。

(構造計画)

水密ハッチの構造部材を確認した上で評価対象部材を選定する。

例えば、屋外の海水ピット等に設置する水密ハッチについては、水密ハッチに作用する下方向からの津波荷重が、蓋板から芯材に伝わり、躯体と一体化した鋼製の蓋枠に固定するボルトに伝達される場合には、評価対象部材は、蓋板、芯材及びボルトとなる。水密ハッチに作用する地震力が、躯体と一体化した鋼製の蓋枠に固定するボルトから、蓋板、芯材に伝達される場合には、評価対象部材は蓋板、芯材及びボルトとなる。

浸水抑制性能を維持するためには、水密ハッチに荷重が作用した場合でも、止水パッキンと蓋枠がずれないように配慮する。

また、屋内の床ハッチに設置する水密ハッチについては、水密ハッチに作用する上方からの水圧が、蓋板及び補強材に伝わり躯体に伝達される場合は、評価対象部材は、蓋板及び補強材となる。水密ハッチに作用する地震力が、躯体と一体化した鋼製の蓋枠に固定するボルトから、蓋板、補強材に伝達される場合には、評価対象部材は蓋板、補強材及びボルトとなる。

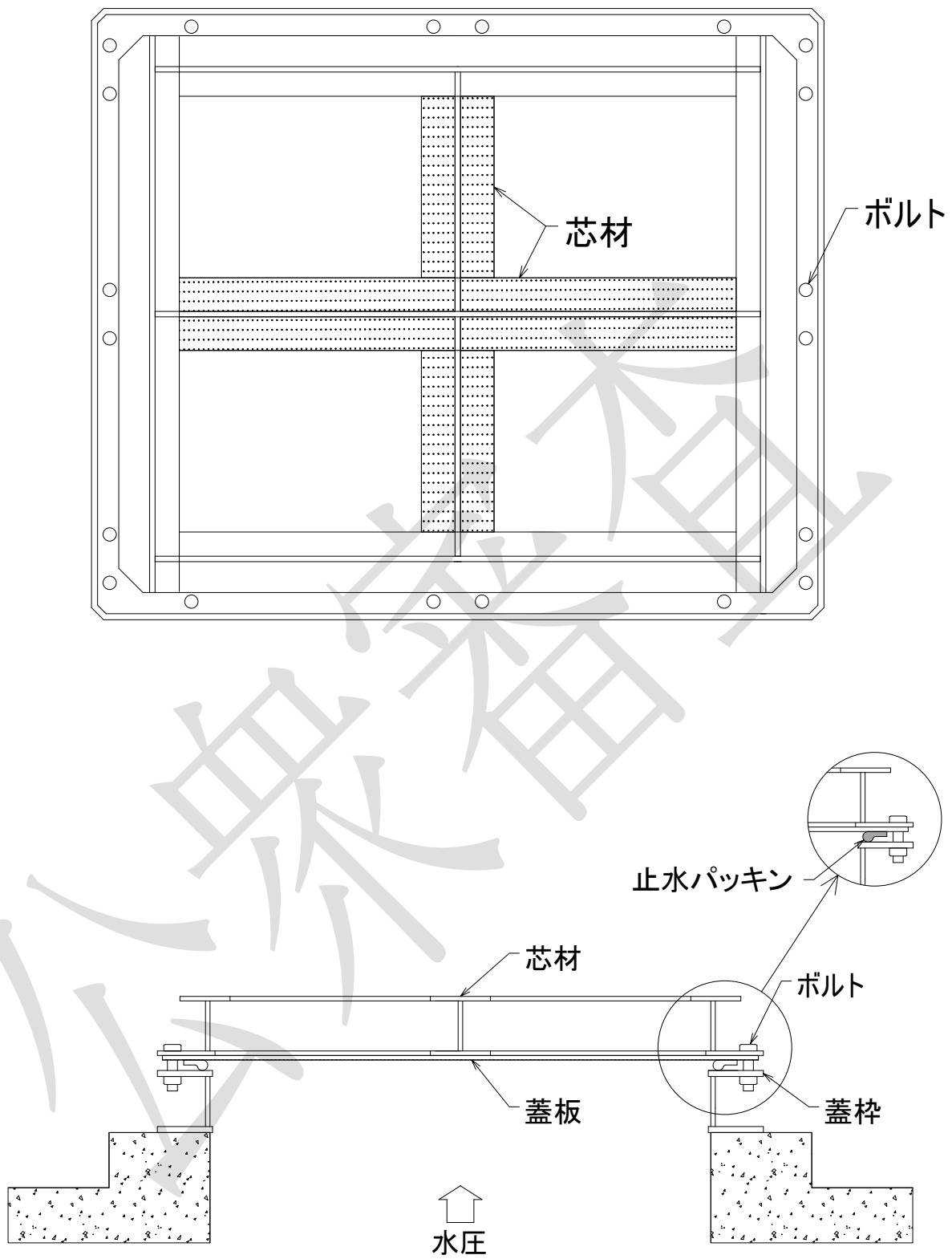
なお、水密ハッチが取り付く躯体は、水密ハッチの支持機能が維持されるよう設計する。

(水密ハッチの構造例)

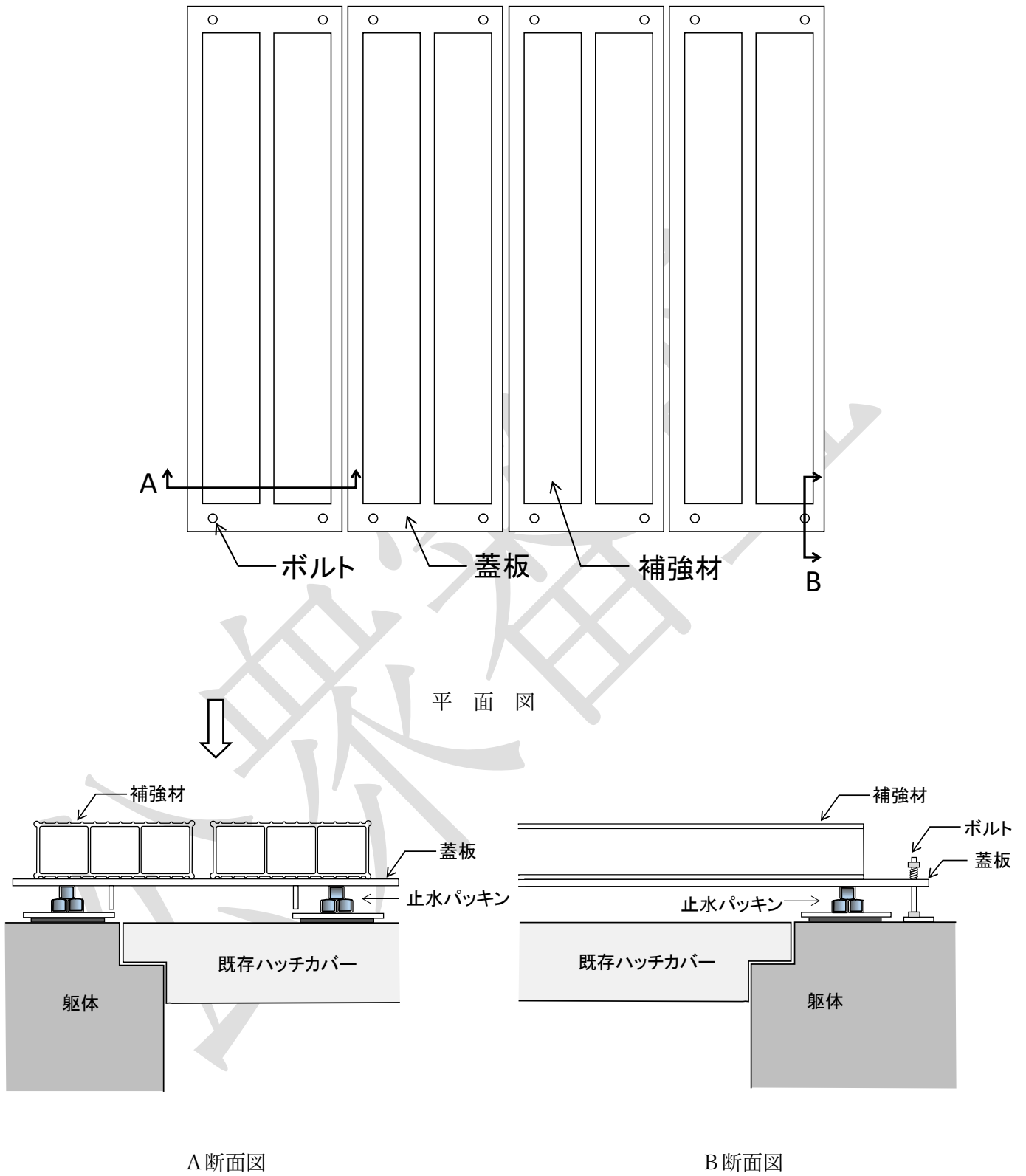
水密ハッチは、蓋板、芯材、補強材、ボルト、止水パッキン等で構成されており、躯体と一体

化した鋼製の蓋枠に固定されている。解説図 2 及び解説図 3 に水密ハッチの構造部材配置の例を示す。





解説図2 海水ピット等に設置する水密ハッチの構造部材配置の例



解説図3 屋内床ハッチに設置する水密ハッチの構造部材配置の例

1.3 性能評価

水密ハッチに要求される性能のうち、耐震性能、耐水圧性能については、荷重が作用した場合でも、水密ハッチの構造部材が、弾性範囲を超えないことで要求性能を満足していることが確認できる。

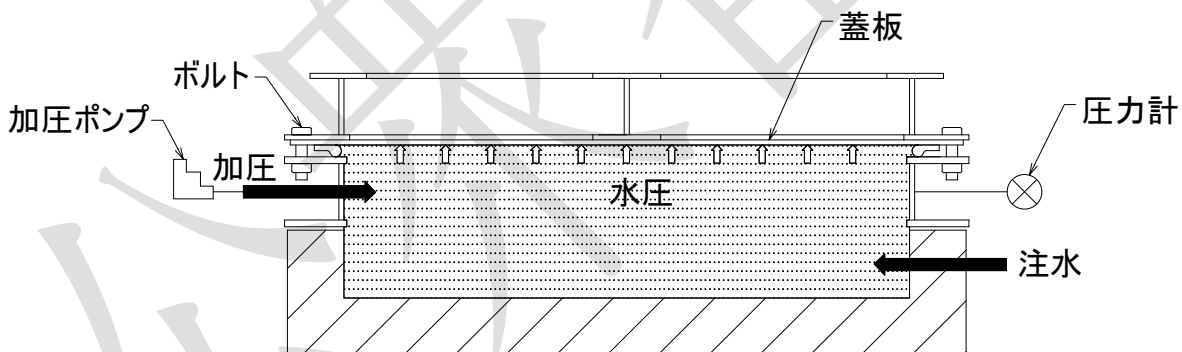
浸水抑制性能を評価する許容漏水量は、水密ハッチの性能評価を行う上での重要な項目であるため、性能試験による検証が望まれる。

水密ハッチが取り付けられるコンクリート躯体等は剛性が高いため、地震を想定した加振と津波を想定した加圧の重畳を想定した試験ではなく、剛な試験装置で変形を抑えて試験する方法も有効である。よって、工場等での性能試験、模擬体での試験、部分的な実大模擬体モデルによる試験も有効であり、供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

性能試験では、実際に作用する動的荷重と同等の静的荷重で代替することも可能である。

なお、同等の静的荷重を設定する際には、(一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程(JEAC4629-2014)⁽¹⁾が参考となる。

解説図4に下方から水圧を受ける水密ハッチの性能試験図の例を示す。



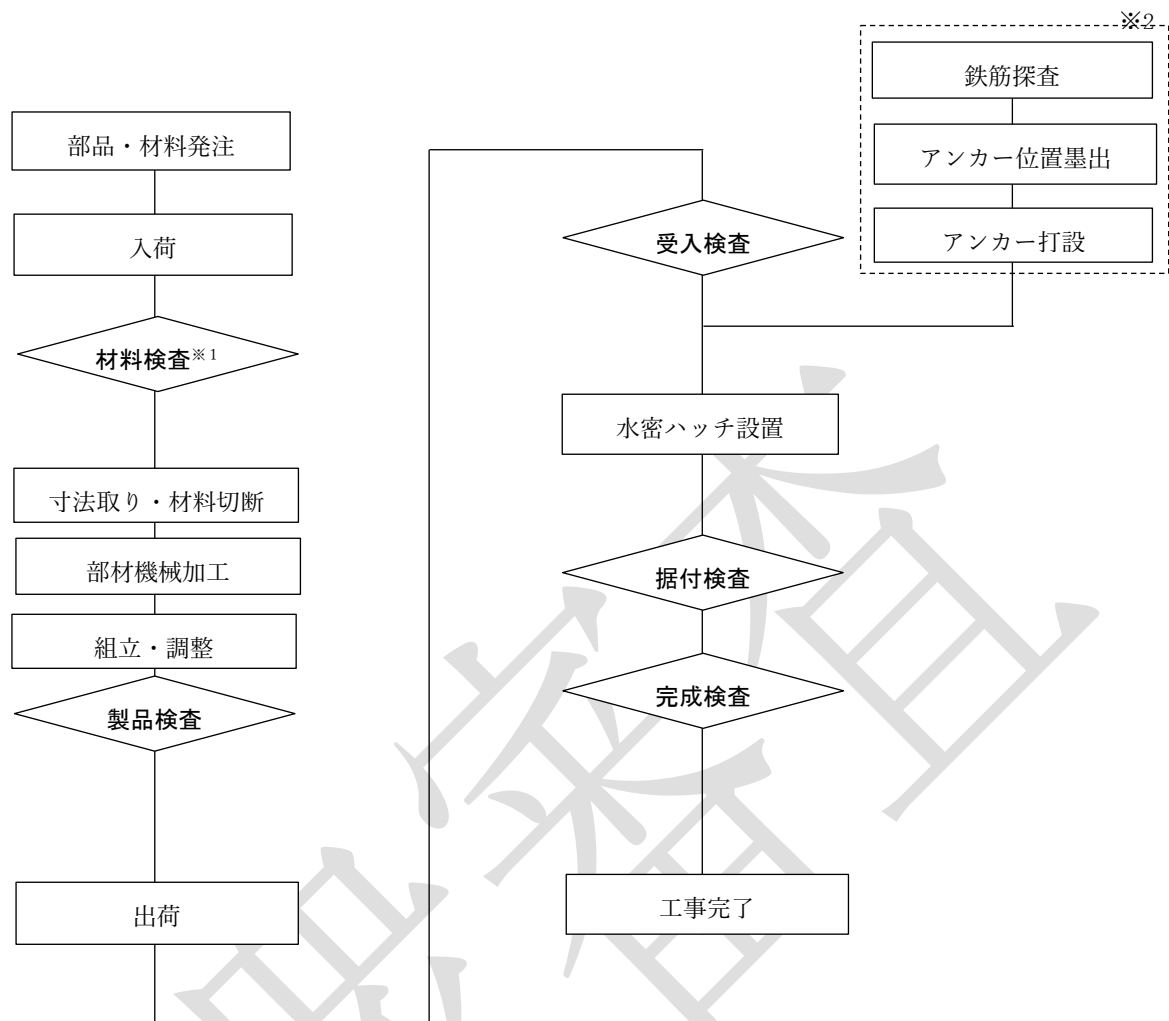
解説図4 水密ハッチの性能試験図の例

2. 製作，現地据付工事

水密ハッチの製作，現地据付工事に際しては，要求性能を満足させるため，製作及び現地据付工事期間中における検査項目，検査方法，判定基準等を明確にした上で，確実に実施されていることを確認することが望ましい。以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では，評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については，JIS B 0405:1991 普通公差等より決められた管理値内であることを確認する。また，止水のための溶接等を含む止水バウンダリについては，製作期間中での検査を行う。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，水密ハッチの要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，水密ハッチが設計で定めた寸法内で所定の位置に据付けられていることを確認する。
- (5) 完成検査では，水密ハッチの要求性能に影響を与える変形等がないことを確認する。止水パッキンの当りについては，必要に応じて止水パッキンの当り検査を行い，止水パッキンの当りに問題がないことを確認する必要がある。当り検査の方法については，チョークテスト，検査紙テスト，すきまゲージテスト等から適切な方法を選択して実施する。

解説図5に水密ハッチの製作，現地据付工事フローの例を示す。また，解説表1に水密ハッチの検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：既設構造物に設置する場合、必要に応じて実施する。

解説図 5 水密ハッチの製作，現地据付工事フローの例

解説表 1 水密ハッチの検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
	止水パッキン	出荷証明書	設計で定めた材料であること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
	止水バウンダリ	非破壊検査, 目視	浸水抑制性能を担保する止水バウンダリの溶接に欠陥がないこと
受入検査	水密ハッチ	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	水密ハッチ	目視	設計で定めた所定の位置に据え付けられていること
完成検査 ※2	水密ハッチ	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
	止水パッキン	当り検査	止水パッキンが蓋板及び蓋枠と密着していること

※1：評価対象部材：蓋板，芯材，ボルト等

※2：立会い若しくは記録確認

3. 保全

水密ハッチには、所定の水圧に対し、所定の浸水抑制性能を発揮することが求められる。

水密ハッチは、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

止水パッキンの劣化や損傷は浸水抑制性能に直接影響を与えるため、止水パッキンの交換時期については、水密ハッチの設置環境、開閉頻度等を踏まえ、予め定めた頻度で取替えを行うこと。加えて、損傷等の可能性を踏まえ、定期的に点検を行うことが望ましい。また、止水パッキンの交換に際しては、設計図に定められた正規の止水パッキンと同等の性能を有するものを使用し、据付時に実施する完成検査のうち、必要に応じて止水パッキンの当り確認と同等の検査（チョークテスト、検査紙テスト、すきまゲージテスト等）を実施し、止水パッキンが密着していることを確認する。

解説表 3 に水密ハッチの点検の例を示す。

解説表 3 水密ハッチの点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1 回/年 ※1	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂, 大きなへこみがないことを確認	目視
蓋板, ボルト等	1 回/年 ※1	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視

※1：ハッチの開放頻度が少ない場合等は、点検の頻度を開放頻度に合わせることも可能とする。

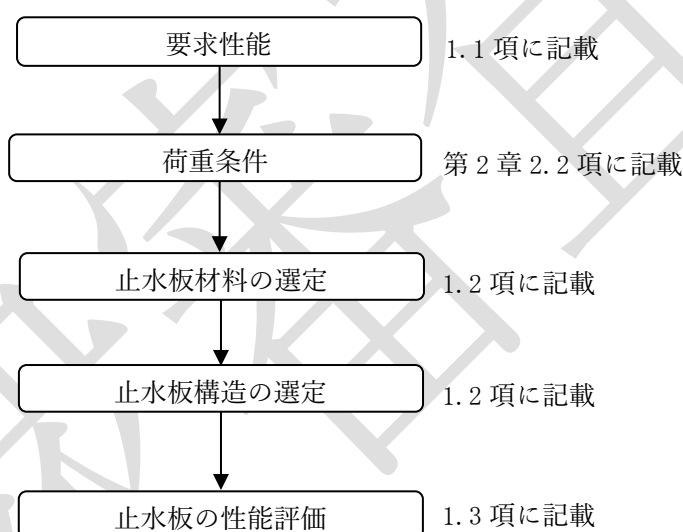
附属書 C (参考) 止水板

堰のように一定の高さまでの水の伝播を防止するために設置するものであり、鋼板等により構成される設備である。止水板は、防護対象設備の保全・リプレース等に対応するため、取外し可能な構造となっているものもある。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

止水板は、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図 1 に止水板の設計手順を示す。



解説図 1 止水板の設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。

なお、止水板における浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さや浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

1.2 材料及び構造

止水板の材料及び構造は、浸水防止設備に特有の使用条件等を考慮して、想定される条件下でも要求性能を満足するように選定する。

(使用条件)

止水板の構造部材及び止水パッキンは、取外し頻度や環境条件等の使用条件を考慮した上で材料選定を行う必要がある。例えば、薬品タンク等が溢水源となる場合は、耐薬品性に優れたパッキンを選定する等の配慮が必要である。

(荷重条件)

止水板の設計において必要となる荷重条件は、(一社)日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2015) ⁽²⁾ の評価方法等を考慮して決定することが望まれる。

(材料)

構造部材は、以下に示す関連規格や適切と認められる規準等に基づき許容応力度を設定する。

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019 ⁽³⁾

(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010 ⁽⁴⁾

(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001 ⁽⁵⁾

(一社)日本アルミニウム協会：アルミニウム建築構造設計規準・同解説【第2版】，2016 ⁽⁶⁾

止水パッキンは、使用条件や荷重条件等を考慮した上で適正な材料を選定する。

(構造)

耐震性能を付与するためには、止水板に作用する荷重の伝わり方に即した評価対象部材を選定した上で、それらの発生応力や変形が使用材料の許容応力度に対して十分な余裕を有する構造（設計）とし、荷重が作用した場合でも、おおむね弾性範囲を超えないことを確認する。

(構造計画)

止水板の構造部材を確認した上で評価対象部材を選定する。例えば、止水板部で発生を想定する溢水による静水圧荷重が板材から補強材、枠材及び支柱に伝わり、躯体に固定する支柱固定ボルト及びアンカーを介し、躯体に伝達される場合には、評価対象部材は、板材、補強材、枠材、支柱、支柱固定ボルト及びアンカーとなる。止水板に作用する地震力が、枠材からアンカーを介して、あるいは支柱から支柱固定ボルトを介して躯体に伝達される場合には、評価対象部材は枠材、支柱、支柱固定ボルト、アンカーとなる。また、寸法公差については、JIS A 4702:2015 ドアセット等を参考にすることが望ましい。

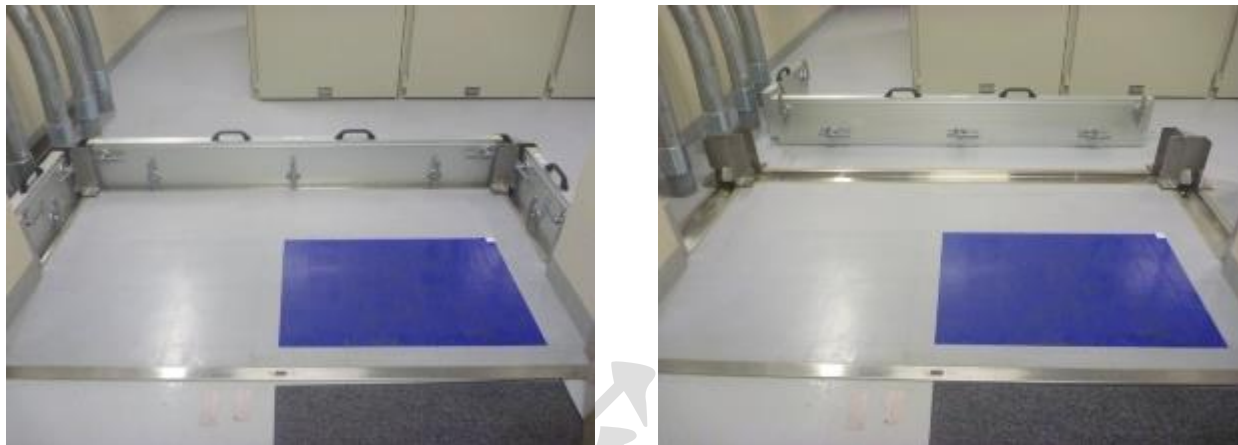
浸水抑制性能を維持するためには、止水板に荷重が作用した場合でも、止水パッキンと枠材がずれないように配慮する。

なお、止水板が取り付く躯体は、止水板の支持機能が維持されるよう設計する。

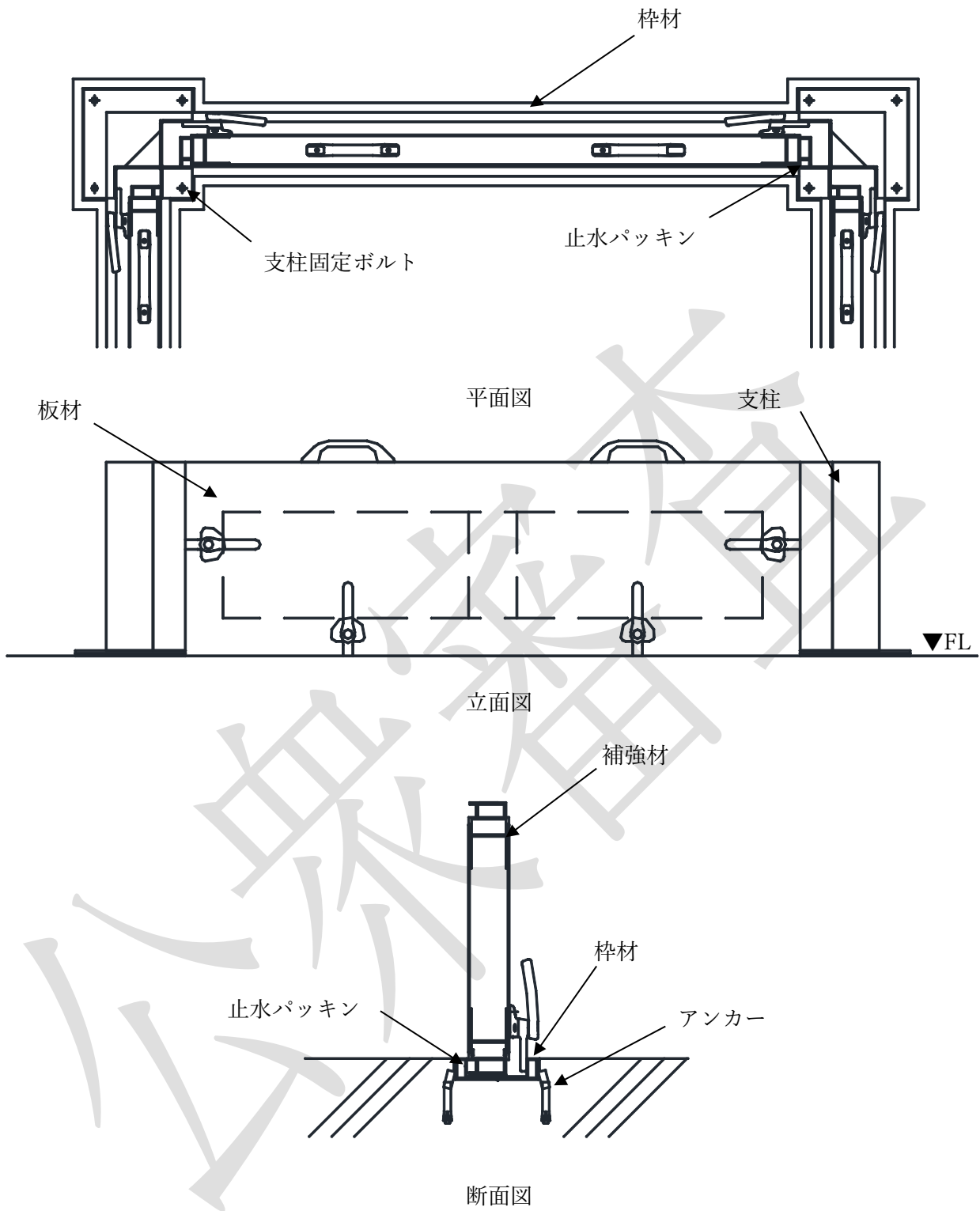
(止水板の構造例)

止水板は、板材、補強材、枠材、支柱、止水パッキン等で構成されており、アンカーや支柱固定ボルトで躯体に固定されている。

解説図 2 に止水板の設置の例、解説図 3 に止水板の構造部材配置の例を示す。



解説図 2 止水板の設置の例 (左：取付け時 右：取外し時)



解説図 3 止水板の構造部材配置の例

1.3 性能評価

止水板に要求される耐震性能については、荷重が作用した場合でも、止水板の構造部材が、おおむね弾性範囲内に設定されていることで要求性能を満足していることが確認できる。

浸水抑制性能を評価する許容漏水量は、止水板の性能評価を行う上での重要な項目であるため、性能試験による検証が望まれる。

性能試験の例としては実機と同様の据付条件にて実機止水板を試験用水槽に設置し、想定される水位以上の水位により生じる水頭圧をかけることにより止水性を確認する方法がある。

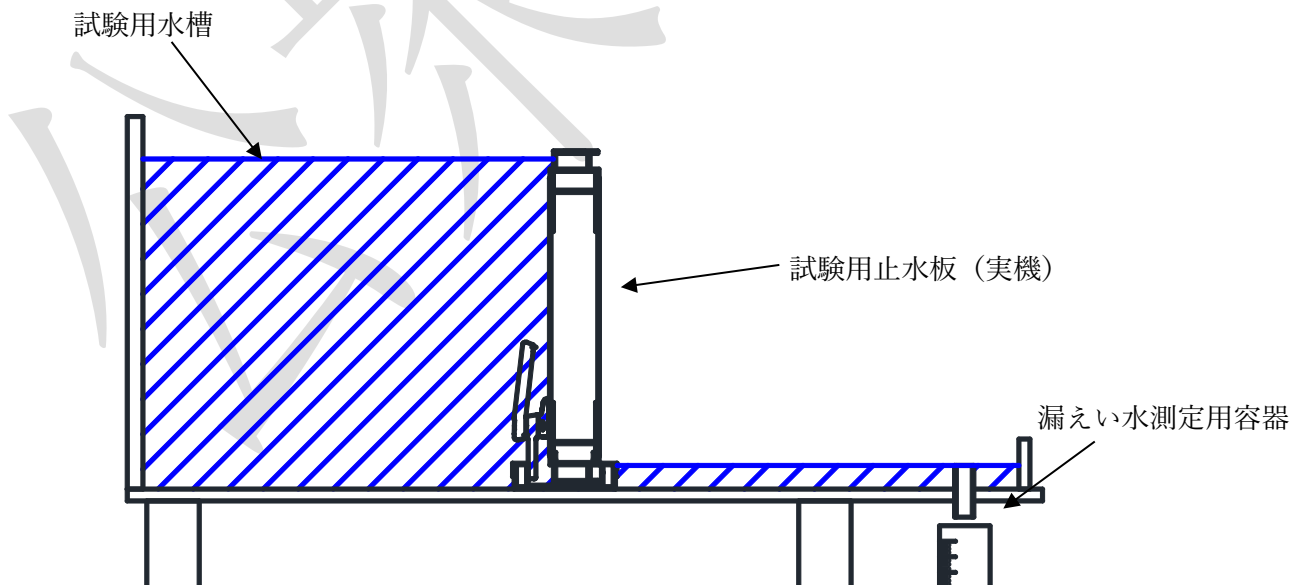
なお、水頭圧は想定される水種（ほう酸水や海水）等の比重を考慮して設定することが望ましい。

供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

解説図 4 に止水板の性能試験の例、解説図 5 に止水板の性能試験図の例を示す。



解説図 4 止水板の性能試験の例



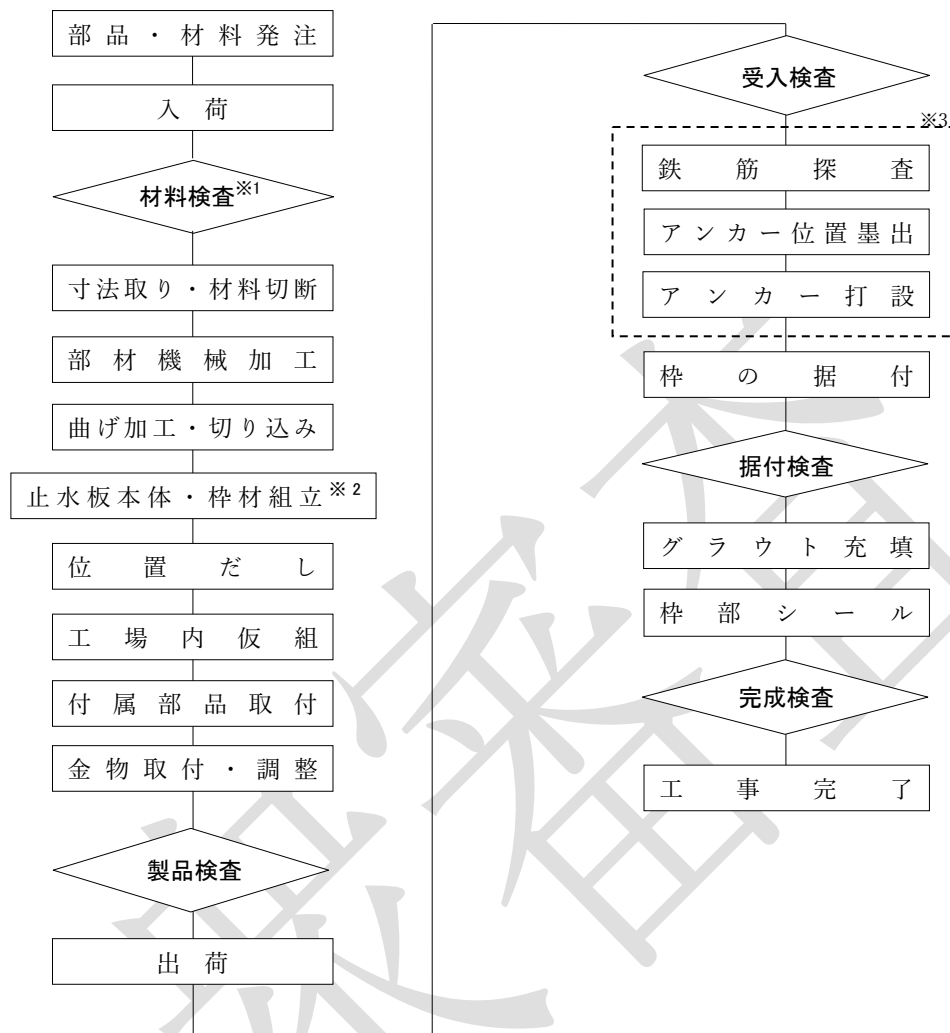
解説図 5 止水板の性能試験図の例

2. 製作，現地据付工事

止水板の製作，現地据付工事に際しては，要求性能を満足させるため，製作及び現地据付工事期間中における検査項目や検査方法，判定基準等を明確にした上で，確実に実施されていることを確認することが望ましい。以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では，評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については，JIS A 4702:2015 ドアセット等より決められた管理値内であることを確認する。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，止水板の要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，止水板が設計で定めた寸法内で所定の位置に据付けられていることを確認する。据付精度については，(社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16，2008⁽⁷⁾等より決められた管理値内であることを確認する。
- (5) 完成検査では，止水板の要求性能に影響を与える変形等がないことを確認する。止水パッキンについては，当り検査を行い，問題がないことを確認する。当り検査の方法については，チョークテスト，検査紙テスト，すきまゲージテスト等から適切な方法を選択して実施する。

解説図 6 に止水板の製作，現地据付工事フローの例，解説図 7 に止水板の製品検査の実施状況，解説図 8 に止水板の据付検査の実施状況，解説図 9 に止水板の完成検査の実施状況を示す。また，解説表 1 に止水板の検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：出荷時に確認できない箇所がある場合，必要に応じて製品検査を実施する。

※3：既設構造物に設置する場合，必要に応じて実施する。

解説図6 止水板の製作，現地据付工事のフローの例



寸法測定

解説図 7 止水板の製品検査の実施状況



寸法測定（据付位置）



寸法測定（高さ）

解説図 8 止水板の据付検査の実施状況



目視



当り検査（止水パッキン）

解説図 9 止水板の完成検査の実施状況

解説表 1 止水板の検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
	止水パッキン	出荷証明書	設計で定めた材料であること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法や員数が規定通りであること
	止水 バウンダリ	当り検査	止水パッキンが板材及び枠材等と密着していること
受入検査	止水板	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	止水板	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査 ※2	止水板	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
	止水パッキン	当り検査	止水パッキンが板材及び枠材等と密着していること

※1：評価対象部材：板材，補強材，枠材，支柱，止水パッキン等

※2：立会い若しくは記録確認

3. 保全

止水板は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

止水パッキンの劣化や損傷は浸水抑制性能に直接影響を与えるため、止水パッキンの交換時期については、止水板の設置環境等を踏まえ、予め定めた頻度で取替えを行うこと、加えて、損傷等の可能性を踏まえ、定期的に点検を行うことが望ましい。また、止水パッキンの交換に際しては、設計図に定められた正規の止水パッキンと同等の性能を有するものを使用し、据付時に実施する完成検査のうち、止水パッキンの当り確認と同等の検査（チョークテスト、検査紙テスト、すきまゲージテスト等）を実施し、止水パッキンが密着していることを確認する。

解説表 2 に止水板の点検の例を示す。

解説表 2 止水板の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂や大きなへこみがないことを確認	目視
板材, 支柱等	1回/年	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視

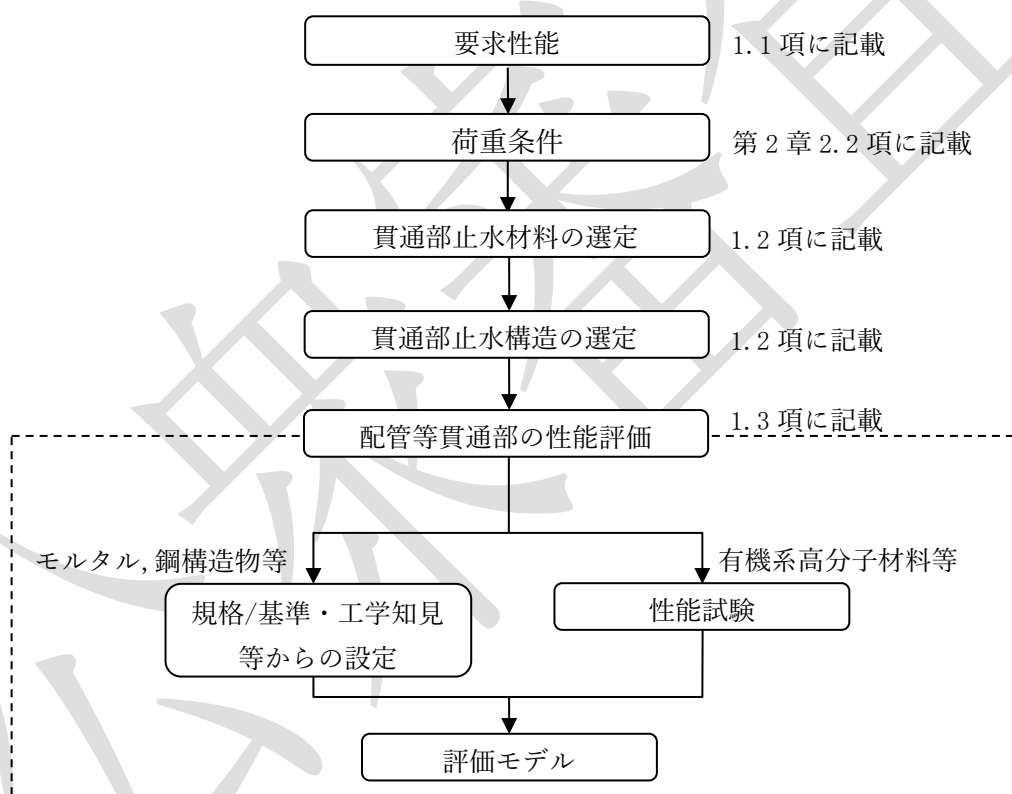
附属書 D (参考) 配管等貫通部に設けられる設備

壁・床等の配管等貫通部に設けられる浸水防止機能を有する設備である。原子炉施設に設けられる配管等貫通部には、浸水防止区画、防火区画、遮蔽区画等の用途に適した施工を求められるものがあるが、本技術指針では、浸水防止の機能担保について示す。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

配管等貫通部の配管、ケーブルトレイ及び電線管は、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図 1 に配管等貫通部の設計手順を示す。



解説図 1 配管等貫通部の設計手順

1.1 要求性能

配管等貫通部における浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さや浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

1.2 材料及び構造

(材料)

配管等貫通部の止水バウンダリを構成する貫通部止水材料は、貫通物の特徴（材質、形状、本数）、使用条件、使用環境等を考慮して適切な材料を選定する。解説表 1 に配管等貫通部の代表的な貫通部止水材料を示す。

貫通部止水材料には大きく分類して、モルタル等の無機系材料、ゴム等の有機系材料（高分子材料）、金属材料等に分類される。

モルタル等の無機系材料は、経年劣化等に対する耐久性に優れ、剛性が高く、高い拘束力を有するため、躯体と貫通物間で熱や地震等による相対変位の影響を考慮して選定する。なお、施工後の収縮等を考慮して無収縮モルタルを選定する。

貫通部スリーブ等の開口部と貫通物間に充てんするような部位に使用するゴム等の有機系材料（高分子材料）は、配管が内包する流体温度が高分子材料の使用制限温度未満でかつ配管の熱移動の影響を考慮して選定することが望ましい。なお、一般的に各材料に使用制限温度（材料メーカー規定値）があるため、高温環境下で使用する場合には、使用温度条件下での性能、交換周期等に対して十分に配慮することが望ましい。貫通物に直接接する部位に使用するゴム等の有機系材料（高分子材料）は、熱分解等によって溶出した成分が、設備に悪影響を及ぼさないことを、成分分析等により確認すること。また、経時劣化で物性が変化するため、材料の経年的な特性も把握して適用することが重要であり、保全段階における点検周期の策定等にも有効であることから可能な限り特性をカタログあるいは試験等で確認することが望ましい。以下に例を示す。

(例)

耐候性

耐熱性

耐放射線性

収縮性・膨張性

接着性

解説表 1 配管等貫通部の代表的な貫通部止水材料

貫通物仕様		貫通部止水材料
配管	低温配管 (丸型ダクト含む)	シール材, モルタル, 閉止板, 溶接部等
	高温配管	ラバーブーツ, 金属ベローズ, 溶接部等
空調ダクト(角型ダクト)		シール材, モルタル, 閉止板, 溶接部等
電路	ケーブルトレイ	シール材, モルタル, 閉止板等
	電線管	シール材, モルタル, 閉止板等

(備考) 1. シール材：ゴム等の有機系材料（高分子材料）

2. モルタル：無機系材料

3. ラバーブーツ：有機系／金属材料組合せ

4. 閉止板, 溶接部, 金属ベローズ：金属材料

(構造)

○配管貫通部

配管貫通部止水構造（丸型ダクトを含む）は、貫通物の特徴（材質、形状、本数）、使用条件、使用環境等を考慮して適切に選定することが望ましい。具体的な構造としては、配管貫通部に貫通部止水材料のうち無機系のモルタル、ゴム等の有機系材料（高分子材料）を充てんするタイプ（充てんタイプ）、閉止板とシール材で止水するタイプ（閉止板タイプ）、また、ラバーブーツ又は金属ベローズ等で止水するタイプ（ブーツタイプ）等がある。

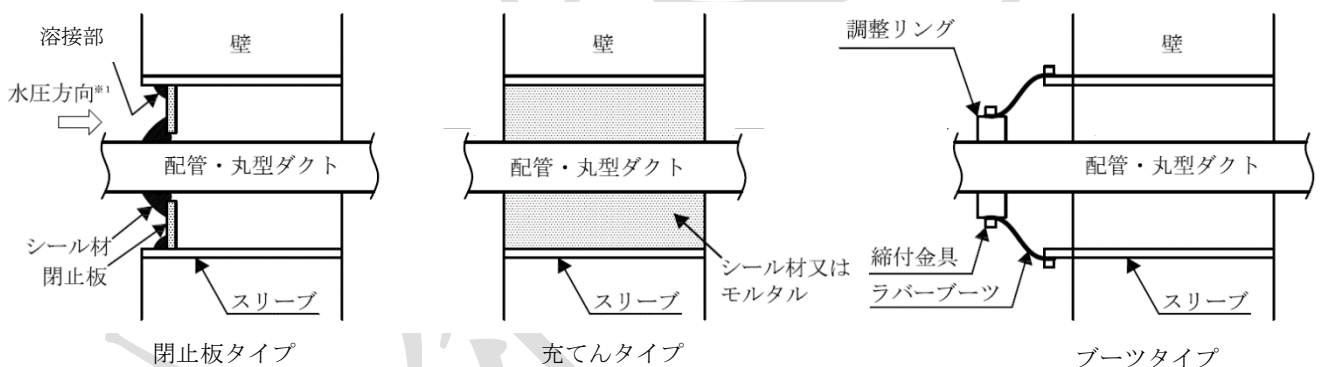
解説図2に配管貫通部の止水構造の例、解説図3に配管貫通部の止水構造設置の例を示す。

各配管貫通部止水構造における配管相対変位に対する追従性能は、一般的にブーツタイプが最も優れており、充てんタイプ、閉止板タイプの順となる。

充てんタイプのうち、モルタルについては、配管を拘束するため相対変位に対する追従性は有しない。

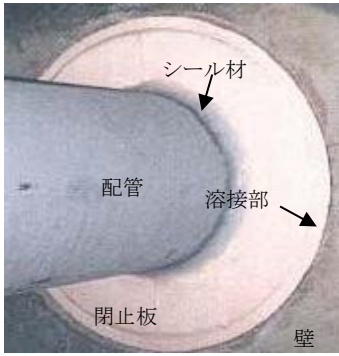
(配管貫通部止水構造の配管相対変位に対する追従性能)

閉止板タイプ < 充てんタイプ < ブーツタイプ



※1：構造設計において、水圧の作用方向を考慮する。

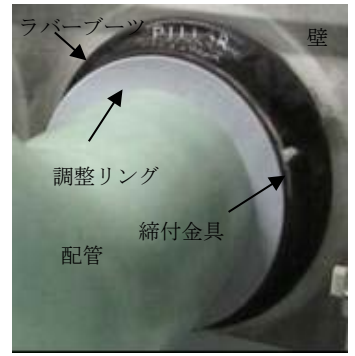
解説図2 配管貫通部の止水構造の例



閉止板タイプ



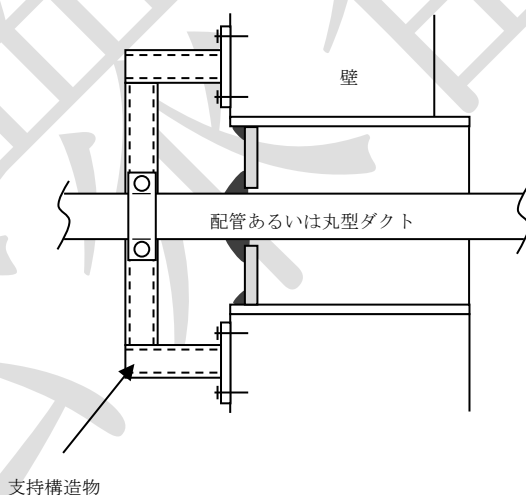
充てんタイプ



ブーツタイプ

解説図 3 配管貫通部の止水構造設置の例

- ・ 充てんタイプは、スリーブと貫通物の間に密に充てん材を充てんするため、微少な変位に対する追随性を有する。また材料特性上、高温条件下での耐久性は適していないため、低温配管／丸型ダクトに適用する。
- ・ 閉止板タイプは、充てん材の充てん量が多く施工性に難のある大型開口部等に適した構造である。受圧部の大半を鋼板で構成し、貫通物と鋼板の隙間部をゴム等の有機系材料（高分子材料）等で充てんした構造で、小口径、大口径等口径に関わらず汎用的に使用できる構造であるが、隙間部のひずみが相対的に大きくなる構造であるため、変位量の大きい部位には不適である。
- ・ ブーツタイプ（ラバーブーツ、金属ベローズ等）は、配管の熱移動に対する追従性に優れており、配管の内包流体が高温でゴム等の有機系材料（高分子材料）の使用温度を超えるような場合に、配管の形状（直管、曲げ管等）に対応して使用する。
 ブーツタイプ（ラバーブーツ、金属ベローズ等）については、熱移動が生じない低温配管／丸型ダクトであっても建屋間相対変位等が生じる部位への適用が可能である。
- ・ 熱あるいは地震により配管あるいは丸型ダクトと貫通部に相対変位や荷重が生じる部位は、変位や荷重に応じて止水構造を使い分けるが、隣接部に支持構造物を配置して発生変位や荷重を抑制することも可能である。解説図4に支持構造物の設置例を示す。



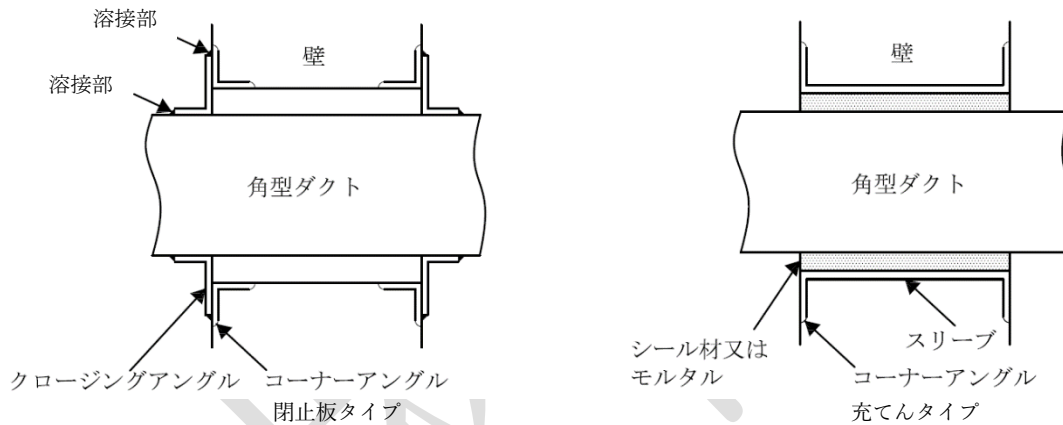
解説図4 配管等貫通部の支持構造物設置例

○角型ダクト貫通部

角型ダクト貫通部止水構造は、貫通物の特徴（材質、形状）、使用条件、使用環境等を考慮して適切に選定することが望ましい。

具体的な構造としては、躯体に設けたコーナーアングルと角型ダクトに設けたクロージングアングルを溶接し、貫通部を閉止するタイプ（閉止板タイプ）、及び、シーリング材又はモルタルにて止水するタイプ（充てんタイプ）がある。また、床貫通部の止水としては、角型ダクト貫通部周囲に想定される浸水高さ以上の堰を設けるタイプ（鋼製堰タイプ）がある。

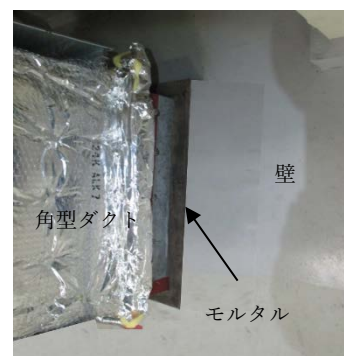
解説図5に角型ダクトの壁貫通部止水構造の例、解説図6に角型ダクトの壁貫通部止水構造設置の例、解説図7に角型ダクトの床貫通部止水構造の例、解説図8に角型ダクトの床貫通部止水構造設置の例を示す。下図に示す構造の例のほか、配管貫通部と同様に実管を用いた構造、及び、埋設スリーブと角型ダクトを兼用した構造がある。



解説図5 角型ダクトの壁貫通部止水構造の例

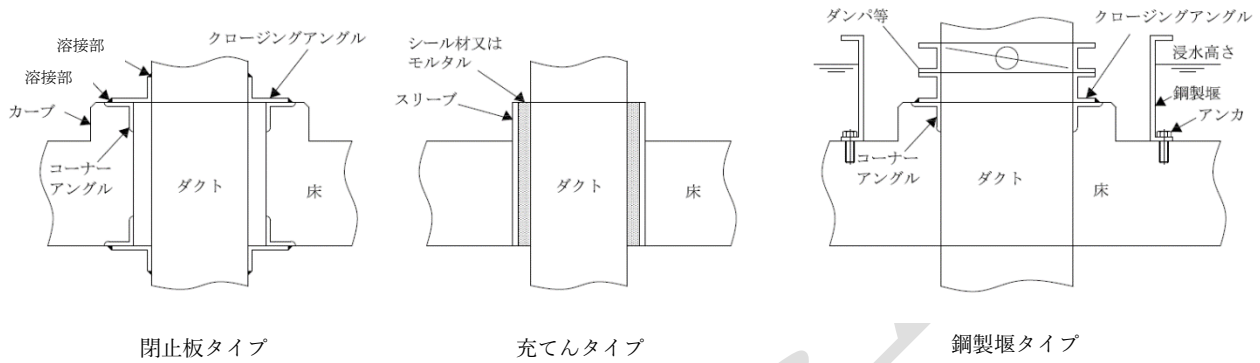


閉止板タイプ

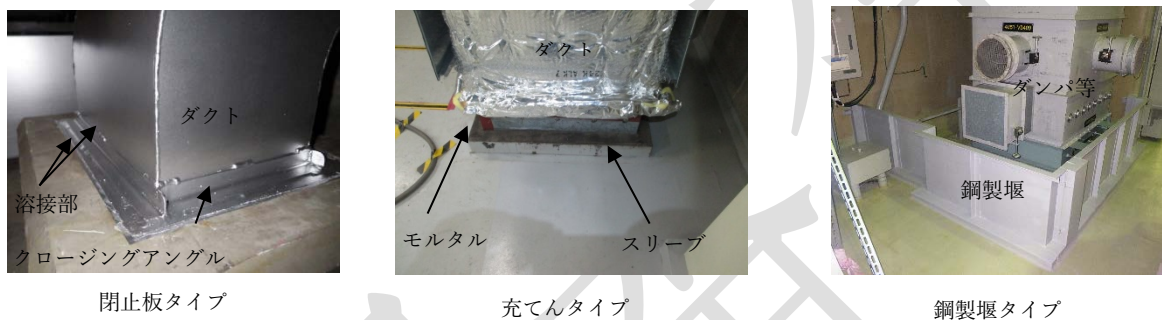


充てんタイプ

解説図6 角型ダクトの壁貫通部止水構造設置の例



解説図7 角型ダクトの床貫通部止水構造の例



解説図8 角型ダクトの床貫通部止水構造設置の例

- ・ 角型ダクト貫通部にあつては、角型ダクトが構造上薄肉構造であることから、浸水深さに対して角型ダクトの座屈変形によりシール機能が損なわれない様配慮する必要がある。
- ・ 角型ダクトは構造上ハゼ折りダクト、スパイラルダクト等があり、浸水想定範囲に当該ダクトが設置されている場合、浸水経路となることから、溶接ダクトあるいは、継手部へのシール処置等の適切な処置を実施することが望ましい。

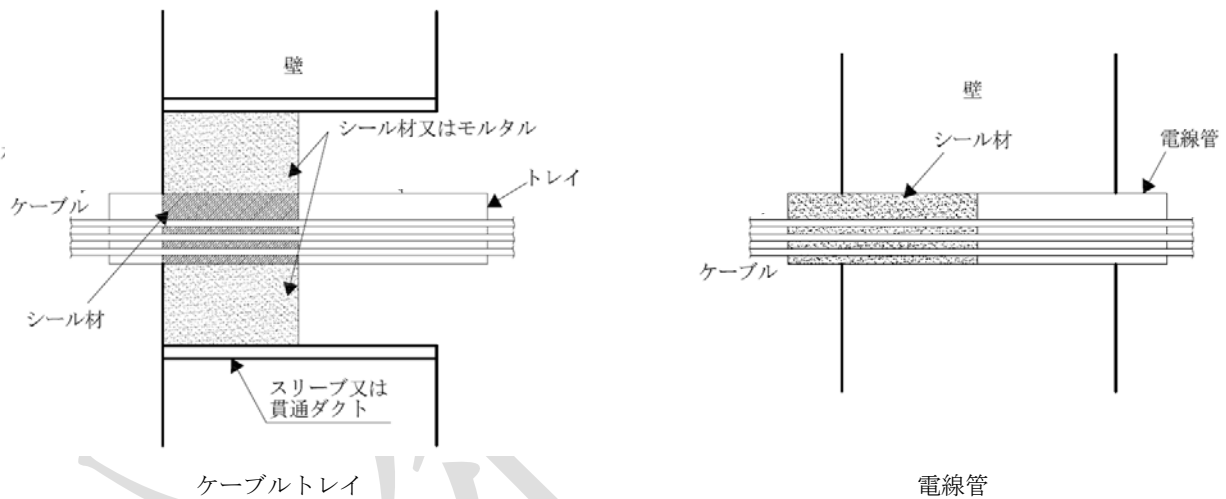
○電路貫通部

電路貫通部止水構造は、貫通物の特徴（材質、形状、本数）、使用条件、使用環境等を考慮して適切に選定することが望ましい。

具体的な構造としては、ケーブルトレイ及び電線管貫通部に貫通部止水材料のうち、シーリング材、モルタルを充てんするタイプがある。ケーブルトレイ貫通部及び電線管貫通部は、隙間部にシーリング材又はモルタルを充てんする施工方法であり、ケーブル相互間及びケーブルと貫通部の隙間は密着性が保たれる構造である。

なお、ケーブルトレイまたは電線管内に布設されているケーブルの量（占積）としては様々であるが（一般的にケーブル占積率は約30～40%程度）、ケーブルのサイズ本数に違いがある場合でも、シーリング材及びモルタルの浸水抑制性能としては同等であることから、同じ施工方法、構造を基本とする。

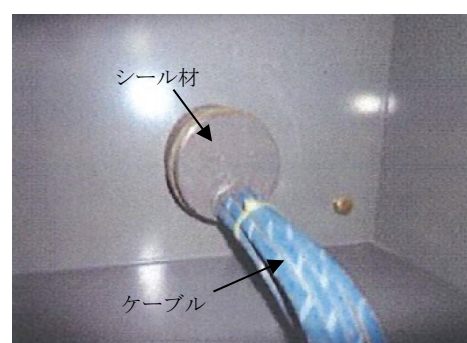
解説図9に電路貫通部の止水構造の例、解説図10に電路貫通部の止水構造設置の例を示す。



解説図9 電路貫通部の止水構造の例



ケーブルトレイ



電線管

解説図10 電路貫通部の止水構造設置の例

1.3 性能評価

貫通部シールの構造は、ゴム等の有機系材料（高分子材料）、鋼板、無機系のモルタルやこれらを組み合わせた複合構造で構成されている。このため、それらの材料特性に応じた評価を行う。以下に各材料に対する評価基準の策定の考え方を示す。

- (1) ゴム等の有機系材料（高分子材料）は、材料メーカーが独自の成分配合等を行っており、規格化された物性値がないため、実機と同等の形状、寸法を模擬した試験体を用いた性能試験により、評価基準を設定する方法が一般的である。あるいは、性能試験の結果から策定した評価モデルと、材料の一般的機械特性から、評価基準を設ける手法も有効である。
- (2) モルタル材料は、土木・建築分野で構造評価手法が広く普及しているため、策定した評価モデルを基にそれらの評価手法を準用することによい。
- (3) 鋼板等の材料は、(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019⁽³⁾の短期許容応力度に基づく。
- (4) 評価モデルに使用する材料物性値は、安全上適切と認められる規格及び基準等に基づく値を使用する。規格及び基準の規定がなく、材料メーカーの技術資料（カタログ含む）に材料物性値が記載されている場合においては、評価上、適切と認められれば、これらの使用も有効である。
- (5) 配管等貫通部止水構造の判定基準は、安全機能設備の設置高さや浸水防護重点化範囲の広さ等を考慮し設定した許容漏水量以下とする。

(性能検証)

配管等貫通部の耐震性能、耐水圧性能は、要求される荷重に耐え、浸水抑制性能については、要求される許容漏水量を満足し、機能を維持していることを試験等で検証することが望ましい。

具体的には、実機の施工条件等を考慮した工場等での性能試験や、性能試験または規格・基準・工学知見等を基に策定した評価モデルでの検証が有効である。また、供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

なお、貫通配管等についても要求される荷重により著しい変形や損傷が発生しないことを検証することが望ましい。

(性能試験)

模擬体にて、第2章に示す荷重条件を負荷させた状態で、配管等貫通部止水構造の健全性、漏水有無(漏水量)等を確認する。性能試験は、貫通部止水材料の種類、形状(直管、曲げ管等)、想定荷重、荷重作用方向、試験体数及び耐圧保持時間等を考慮し適切に設定の上、実施することが望ましい。

配管等貫通部止水構造のうち、充てんタイプと閉止板タイプは、各荷重条件に対する性能が、主に貫通部止水材料のシール材種類と厚さに影響を受ける。ブーツタイプについては、主にスリーブ径、ラバーブーツ材質、ラバーブーツ厚さ等に影響を受けるため、性能試験においては、各性能とその性能に影響を与えるこれらの諸元との関係を確認する。本検証結果での相関関係は、製作、現地据付工事においても主要な確認・検査項目となる。

耐水圧性能、浸水抑制性能に対する性能試験(例:静水頭圧性能試験)を解説図11に示す。配管貫通部止水構造に津波荷重に相当する静水頭圧が作用する場合、充てんタイプは、貫通部止水材料のシール材種類ごとに、実機施工条件等を包絡する貫通部止水材料の内径、厚さをパラメータに浸水抑制性能との関係を確認する。また、閉止板タイプにおいても、シール材種類ごとに、実機施工条件等を包絡する貫通部止水材料の厚さ(脚長)、配管と閉止板との隙間をパラメータに浸水抑制性能との関係を確認する。試験で得られた浸水抑制性能と各諸元(貫通部止水材料の内径、厚さ(脚長)、隙間等)の関係から実機での貫通部止水材料の施工条件を決定することが望ましい。

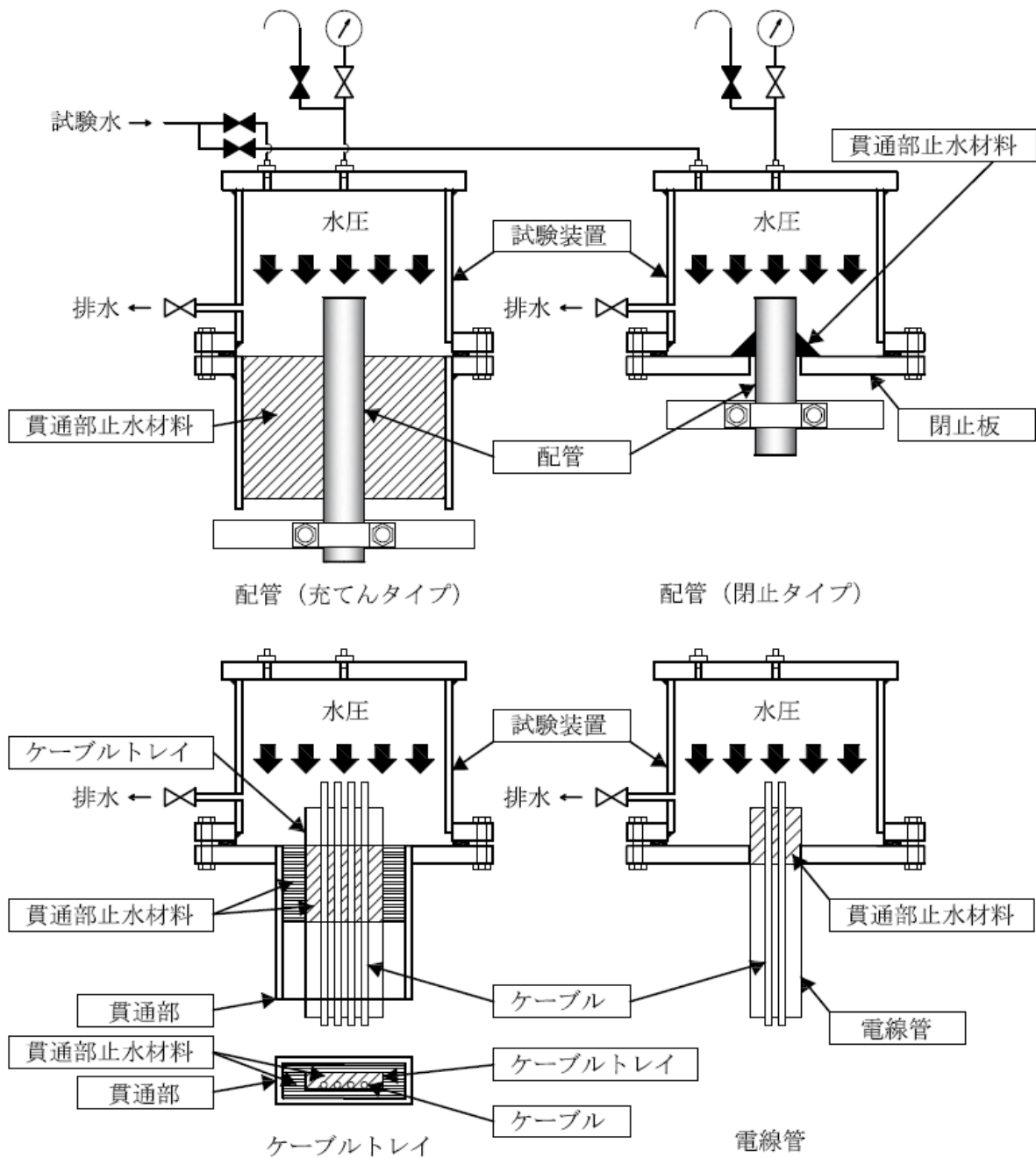
配管貫通部止水構造に地震(本震)が作用する場合の性能試験は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能について確認する。具体的には、模擬体に地震時に相当する荷重又は変位を付与した後、津波荷重に相当する静水頭圧を作用させる。また、余震が作用した場合の性能試験においては、模擬体に地震(本震)時に相当する荷重又は変位を付与した後、津波荷重に相当する静水頭圧を作用させた状態で、余震時に相当する荷重又は変位を付与し、貫通部止水材料の浸水抑制性能を確認する。これらの結果から、貫通部止水材料が浸水抑制性能を有する限界荷重又は変位を確認する。

設計においては、これらの検証結果から、貫通部止水構造の荷重又は変位が許容限界以上とならないよう、貫通物を固定する等の設備補強を実施することも考慮する。(「解説図4 支持構造物設置例」参照)

なお、性能試験として静水頭圧性能試験を実施する場合、試験時間は、試験圧力到達後に概ね圧力挙動が安定していることを確認した上で、一定時間保持することが望ましい。また、設置場所における浸水継続時間に合わせて決めてもよい。

(関連文献)

三菱重工業株式会社：原子力発電プラントにおける貫通部シールの水密性能検証試験(MHI-NES-1067 改0)，平成27年6月



項目		記録	
試験体仕様	貫通部	直径 (mm)	
		材質	
	貫通部止水材料	種類	
		止水材料厚さ (mm)	
		止水材料内径 (mm)	
試験条件	水温 (°C)		
	水圧 (MPa)		
	耐圧時間 (分)		
確認項目	漏えい量 (cc)		

解説図 11 性能試験 (例：静水頭圧性能試験)

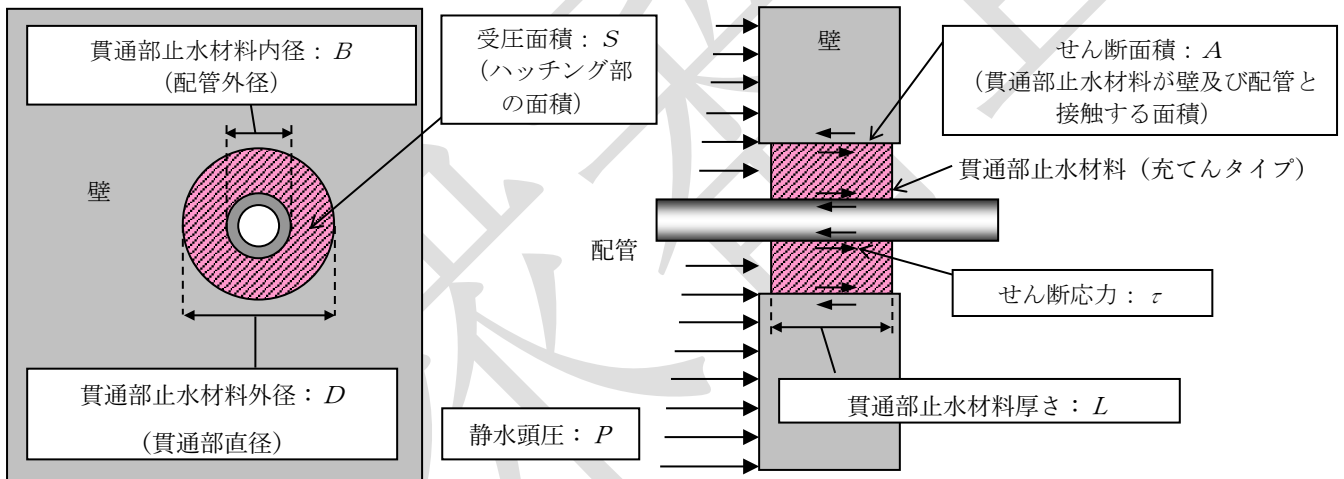
(評価モデル)

工学的に妥当な評価モデル又は、性能試験にて妥当と判断された評価モデルにて評価を行う。評価においては、貫通部止水構造全体の健全性を確認することが望ましい。例えば、閉止板タイプでは、配管と閉止板の隙間部を止水するシール材だけではなく、閉止板に静水頭圧等の荷重が作用した場合の健全性についても確認する。

耐水圧性能, 浸水抑制性能に対する配管等貫通部の評価モデルイメージ (例: 静水頭圧性能評価) を解説図 12 に示す。

配管貫通部止水構造に津波荷重に相当する静水頭圧が作用する場合、貫通部止水材料が壁及び配管と接触する部分に作用するせん断荷重に対して、貫通部止水材料が有する付着強度が確保できていることを確認する。

なお、付着強度は、使用する貫通部止水材料の種類ごとに性能試験又は安全上適切と認められる規格及び基準等に基づく値を使用する。具体的な評価例を次頁に示す。



解説図 12 配管等貫通部の評価モデルイメージ (例: 静水頭圧性能評価)

【貫通部止水材料（例：モルタル）の静水頭圧性能評価方法】

配管貫通部止水構造（充てんタイプ）に静水頭圧が作用した場合の貫通部止水材料（モルタル）の性能評価の例を以下に示す。

なお、評価に使用する記号等については、解説図 12 を参照のこと。

- ① 静水頭圧（ P ）によって貫通部止水材料（モルタル）に作用する荷重（ F_1 ）

$$F_1 = P \times S$$

ここで、

P ：静水頭圧（ N/mm^2 ）

S ：受圧面積（ mm^2 ）

$$S = \pi / 4 \times (D^2 - B^2)$$

D ：貫通部止水材料外径（ mm ）

B ：貫通部止水材料内径（ mm ）

- ② 貫通部止水材料（モルタル）に生じる許容せん断荷重（ F_2 ）

$$F_2 = \tau \times A$$

ここで、

τ ：許容せん断応力（ N/mm^2 ）

土木学会、日本建築学会等が発行している各種示方書等に記載のコンクリートと鉄筋の付着強度/応力度（ N/mm^2 ）における丸鋼の付着強度/応力度を適用すること。

A ：せん断面積（ mm^2 ）

$$A = \pi \times (D + B) \times L$$

D ：貫通部止水材料外径（ mm ）

B ：貫通部止水材料内径（ mm ）

L ：貫通部止水材料厚さ（ mm ）

- ③ 性能評価

①、②で算出した荷重に対して以下の関係が成り立つことを確認する。

$$F_1 < F_2$$

2. 製作，現地据付工事

配管等貫通部の浸水防止機能を満足させるためには、製作，施工する配管等貫通部の材料，構造（配管等貫通部止水構造寸法も含む）等を性能検証も含めた評価等により決定した設計仕様に適合させる。このため，製作，施工期間中に実施する材料検査，製品検査，受入検査，施工前検査，施工検査，完成検査において，配管等貫通部の材料，寸法，外観等に対して検査項目，検査方法，判定基準を明確にし，検査することが望ましい。

(1) 材料

使用されている材料について設計仕様に適合していることを検査する。また，シール材に関しては，硬化後のシール材の強度，配管及びスリーブとの密着性により，浸水防止機能を満足させるが，製造から長期間経過したものを使用すると硬化しない等不備が発生する可能性があるため，施工前にシール材の使用期限を確認する。

(2) 寸法

閉止板，ラバーブーツ，金属ベローズ，クロージングアングル等の各貫通部の構成品として使用される製品の主要寸法に対して設計値を確保することで，浸水防止機能を満足させるため，製作後に，各構成品の主要寸法を検査し，許容公差以内であることを確認する。また，充てんタイプ貫通部のシール材，モルタルに関しては充てん厚さ又は充てん量で性能を担保しているため，現地施工時に充てん厚さ又は充てん量を検査し，必要な厚さを確保していることを確認する。

(3) 外観

浸水防止機能を満足させるためには，施工後に貫通部の止水バウンダリを構成する範囲内に機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥があってはならない。このために，施工後に以下に示すような欠陥がないことを施工検査で確認する。

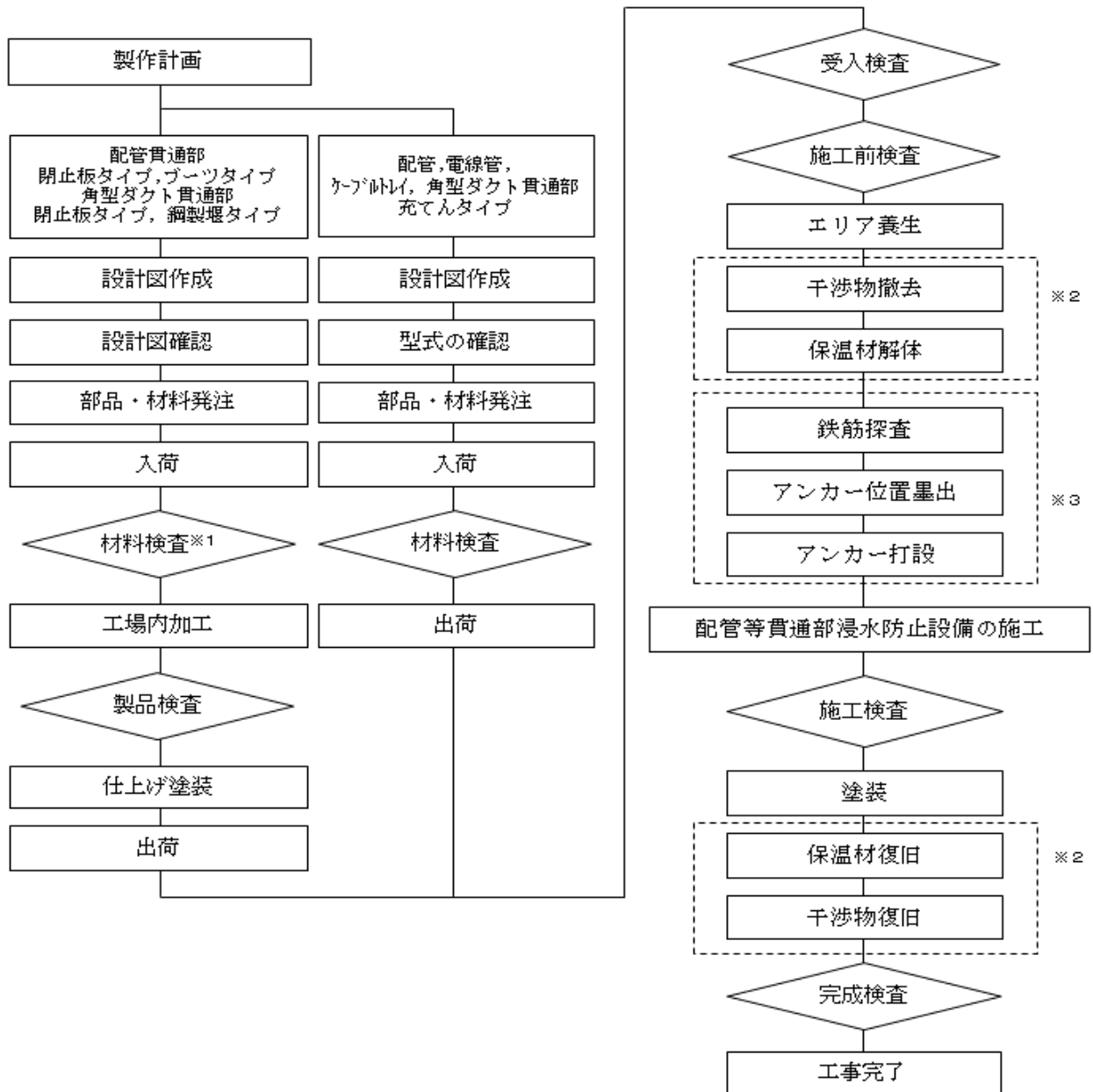
なお，浸水防止機能に影響を及ぼすような欠陥として，シール材，モルタルについては施工の不良，施工後の収縮による割れ，隙間等が考えられ，溶接については，溶接部の施工不良等による溶接欠陥が考えられる。また，これらの欠陥の有無は目視でも確認が可能と考えられることから，検査方法としてはその欠陥の有無を目視で確認する方法でもよい。ただし，**(一社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格）**^{(9) (10) (11) (12)}が適用される配管に溶接する場合には，規格で要求される浸透探傷試験（PT）等の非破壊検査とする。

- ・シール材，モルタル表面の割れ等の欠陥
- ・モルタルとスリーブ接着部の隙間
- ・溶接部の溶接欠陥

前記の検査に加えて，製作完了後及び施工完了後に，浸水防止機能に影響を及ぼす有害な欠

陥等の異常がないことを製品検査及び完成検査として確認する。

解説図 13 に配管等貫通部の製作，現地据付工事フローの例を示す。また，製作，現地据付工事時の検査項目について，解説表 2 に配管貫通部止水構造〔充てんタイプ(シール材)〕の検査項目の例，解説表 3 に配管貫通部止水構造〔充てんタイプ(モルタル)〕の検査項目の例，解説表 4 に配管貫通部止水構造(閉止板タイプ)の検査項目の例，解説表 5 に配管貫通部止水構造〔ブーツタイプ(ラバーブーツ)〕の検査項目の例，解説表 6 に配管貫通部止水構造〔ブーツタイプ(金属ベローズ)〕の検査項目の例，解説表 7 に角型ダクト貫通部止水構造(閉止板タイプ)の検査項目の例，解説表 8 に角型ダクト貫通部止水構造〔充てんタイプ(シール材)〕の検査項目の例，解説表 9 に角型ダクト貫通部止水構造〔充てんタイプ(モルタル)〕の検査項目の例，解説表 10 に角型ダクト貫通部止水構造〔鋼製堰タイプ〕の検査項目の例，解説表 11 に電路貫通部止水構造(ケーブルトレイ，電線管)の検査項目の例を示す。解説図 14～解説図 23 に各貫通部構造における寸法検査箇所の例を示す。



※ 1 : 製作検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※ 2 : 既設改造の場合であり、新設の場合は不要である。

※ 3 : 鋼製堰を既設構造物に設置する場合、必要に応じて実施する。

解説図 13 配管等貫通部の製作，現地据付工事フローの例

解説表 2 配管貫通部止水構造[充てんタイプ(シール材)]の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
受入検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※4	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	シール材の充てん 厚さ ※1	寸法測定 ※1, ※4	設計で定めた値を満足すること
	シール材施工後の外観	目視	割れ等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な 欠陥等の異常がないこと

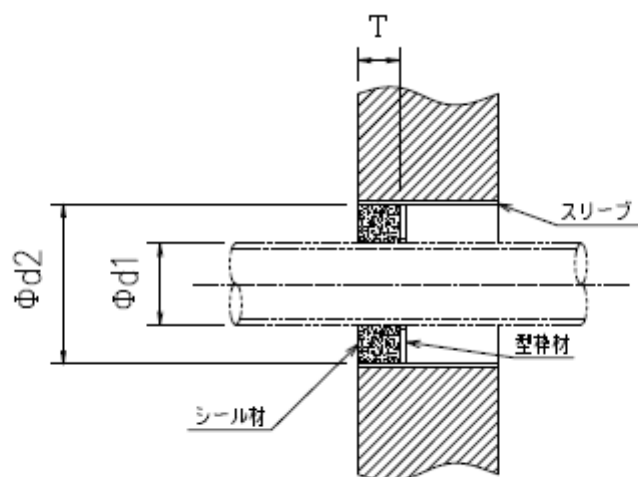
※1：罫書き等に対する型枠材設置位置，シール材施工後のシール材設置位置の確認を行う方法等で間接的にシール材厚さを確認してもよい。

※2：カタログ等にて，製品の内容を確認してもよい。

※3：シール材については使用前にも銘柄，使用期限等に問題ないことの現物確認を行う。

※4：解説図 14 参照

※5：材料検査及び受入検査を行う使用材料は，シール材



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	配管の呼び径	施工位置特定
$\phi d 2$	スリーブの呼び径	施工位置特定
T	シール材の充填厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に配管とスリーブの呼び径を測定してもよい。

解説図 14 配管貫通部止水構造[充填タイプ(シール材)]の寸法検査箇所の例

解説表 3 配管貫通部止水構造[充てんタイプ(モルタル)]の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※4	材料確認 (記録 ※1)	設計で定めた材料であること
受入検査	使用材料 ※4	材料確認 (記録 ※1)	設計で定めた材料であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※3	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	モルタルの充てん厚さ	寸法測定 ※2, ※3	設計で定めた値を満足すること ※2
	モルタル施工後の外観	目視	割れ等の異常がないこと
	スリーブ及び配管と止水材との接着部の外観	目視	接着部に隙間がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

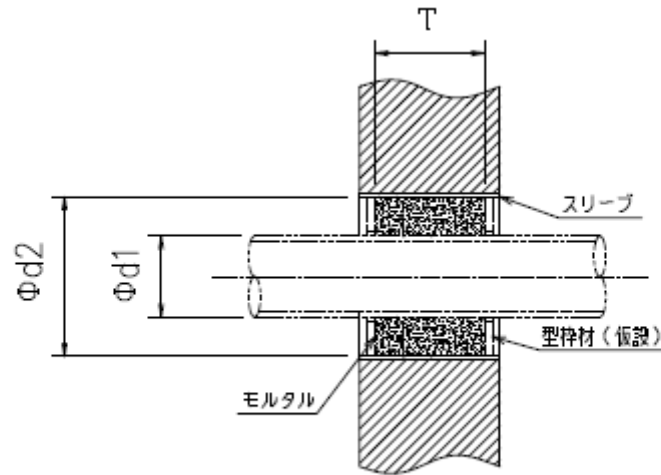
※1：カタログ等にて、製品の内容を確認してもよい。

※2：充てん厚さの代わりに充てん量を測定する方法もある。

なお、充てん量を確認できる方法であれば、充てん量を満たす型枠材位置を測定し確認する方法、及びモルタル充てん口より充てんし、充てん口とは、別に設けた空気抜き穴から、モルタルが溢れることを確認することがよい。この際、壁または床の反対側のモルタル流失防止材から、モルタルが流出していないことを確認する。

※3：解説図 15 参照

※4：材料検査及び受入検査を行う使用材料は、モルタル



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	配管の呼び径	施工位置特定
$\phi d 2$	スリーブの呼び径	施工位置特定
T	モルタルの充てん厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に配管とスリーブの呼び径を測定してもよい。

解説図 15 配管貫通部止水構造[充てんタイプ(モルタル)]の寸法検査箇所例

解説表 4 配管貫通部止水構造（閉止板タイプ）の検査項目の例 ※1

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
製品検査	閉止板の寸法	寸法測定 ※4	公差以内であること
	完成品の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと
受入検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※4	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	配管と閉止板との取合部のシール材の厚さ	寸法測定 ※4	設計で定めた値を満足すること
	配管と閉止板との取合部のシール材の外観	目視	割れ等の異常がないこと
	スリーブ及び閉止板溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

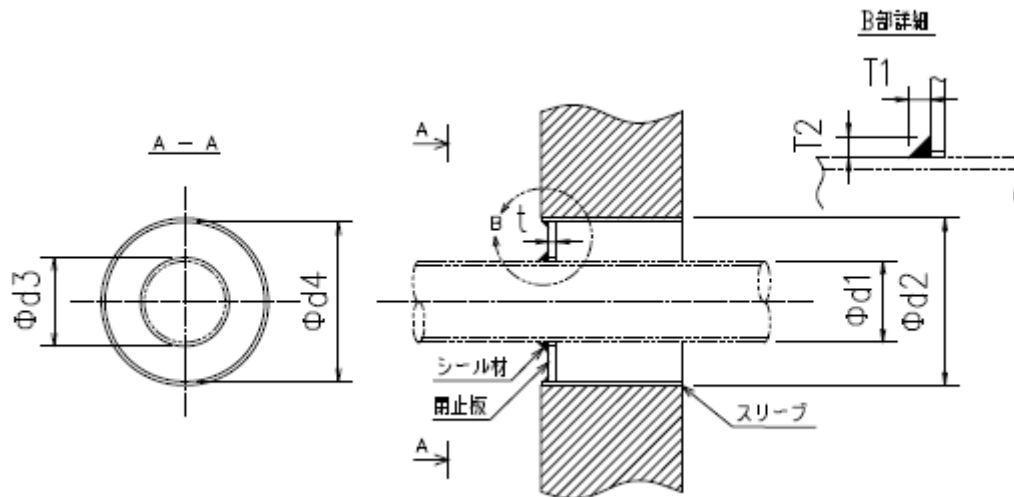
※1：本表は配管と閉止板の隙間をシール材で止水する貫通部止水構造の製作，施工の検査項目の例である。

※2：カタログ等にて，製品の内容を確認してもよい。

※3：シール材については使用前にも銘柄，使用期限等に問題ないことの現物確認を行う。

※4：解説図 16 参照

※5：材料検査及び受入検査を行う使用材料は，シール材と閉止板



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	配管の呼び径	施工位置特定
$\phi d 2$	スリーブの呼び径	施工位置特定
$\phi d 3$	閉止板の内径	浸水抑制機能担保
$\phi d 4$	閉止板の外径	浸水抑制機能担保
t	閉止板の厚さ	浸水抑制機能担保
T 1, T 2	シール材の充てん厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に配管とスリーブの呼び径を測定してもよい。

解説図 16 配管貫通部止水構造（閉止板タイプ）の寸法検査箇所の例

解説表 5 配管貫通部止水構造[ブーツタイプ(ラバーブーツ)]の検査項目の例 ※1

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
製品検査	ラバーブーツ及び付属品 (継ぎ足しスリーブ, 調整 リング, 締付け金具, ボルト, ガ スケット) 寸法	寸法測定 ※4	公差以内であること
	ボルト本数	員数確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	完成品の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な 欠陥等の異常がないこと
受入検査	製品の材料, 個数	材料及び員数確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料, 数量であるこ と
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※4	設計で定めた位置の貫通部に相違 ないこと
施工検査	スリーブ他溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
	ラバーブーツの 取付長さ ※3	寸法測定 ※4	設計で定めた値を満足すること
	取付金具の締付トルク	締付検査	設計で定めた値を満足すること
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な 欠陥等の異常がないこと

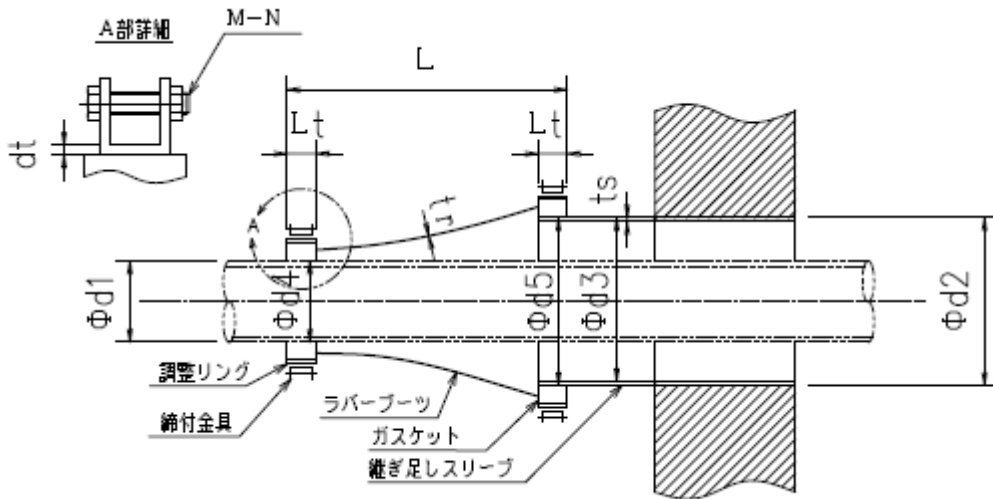
※1：本表は配管とラバーブーツの間に調整リングを設けた貫通部止水構造の製作, 施工の検査項目の例である。

※2：材料はカタログ等にて, 製品の内容を確認してもよい。

※3：調整リングの設置位置で確認してもよい。

※4：解説図 17 参照

※5：材料検査を行う使用材料は, ラバーブーツ及び付属品(継ぎ足しスリーブ, 調整リング, 締付け金具, ボルト, ガスケット)



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	配管の呼び径	施工位置特定
$\phi d 2$	スリーブの呼び径	施工位置特定
$\phi d 3$	継ぎ足しスリーブの外径	浸水抑制機能担保
$\phi d 4$	ガスケットの内径(配管側)	浸水抑制機能担保
$\phi d 5$	ガスケットの内径(スリーブ側)	浸水抑制機能担保
L	ラバーブーツの取付長さ	浸水抑制機能担保
L t	調整リングの幅	浸水抑制機能担保
t r	ラバーブーツの厚さ	浸水抑制機能担保
t s	継ぎ足しスリーブの厚さ	浸水抑制機能担保
d t	締付金具の厚さ	浸水抑制機能担保
M	締付金具のボルト径	浸水抑制機能担保
N	締付金具のボルト本数	浸水抑制機能担保

(備考)

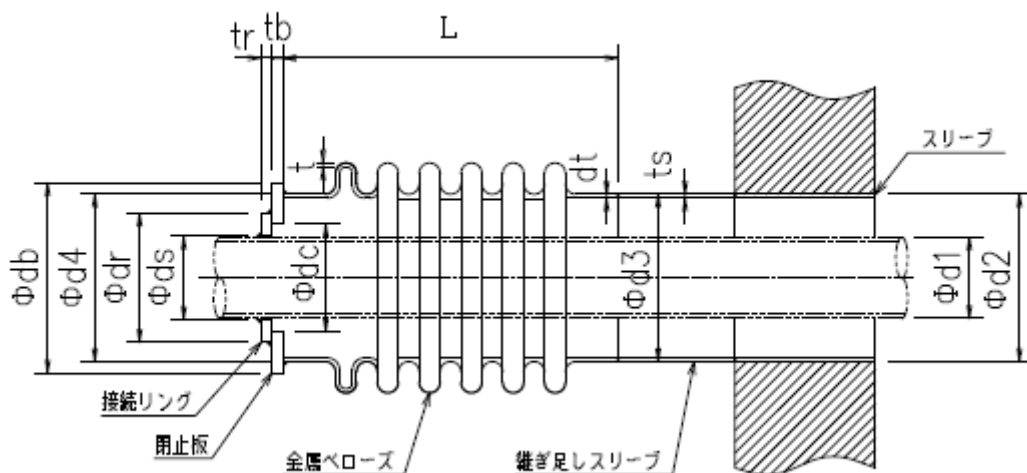
施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に配管とスリーブの呼び径を測定してもよい。

解説図 17 配管貫通部止水構造[ブーツタイプ(ラバーブーツ)]の寸法検査箇所の例

解説表 6 配管貫通部止水構造[ブーツタイプ(金属ベローズ)]の検査項目の例 ※1

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	金属ベローズの使用材料	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	継ぎ足しスリーブの使用材料	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	閉止板, 接続リングの使用材料	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
製品検査	金属ベローズの寸法	寸法測定 ※3	公差以内であること
	継ぎ足しスリーブの寸法	寸法測定 ※3	公差以内であること
	閉止板, 接続リングの寸法	寸法測定 ※3	公差以内であること
	完成品の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと
受入検査	使用材料 ※4	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※3	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	接続リングと配管との溶接部の外観	目視, 非破壊検査 (表面検査)	目視で溶接欠陥等の異常が確認されないこと 表面検査で有意な指示が確認されないこと
	継ぎ足しスリーブと設置済スリーブとの溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
	継ぎ足しスリーブと金属ベローズとの溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
	金属ベローと接続リングの溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

- ※1：本表は配管及びスリーブに金属ベローズを設置した貫通部止水構造（配管とスリーブの位置調整用の接続リング付）の製作，施工の検査項目の例である。
- ※2：カタログ等にて，製品の内容を確認してもよい。
- ※3：解説図 18 参照
- ※4：受入検査を行う使用材料は，金属ベローズ，継ぎ足しスリーブ，閉止板，接続リング



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	配管の呼び径	施工位置特定
$\phi d 2$	スリーブの呼び径	施工位置特定
$\phi d 3$	継ぎ足しスリーブの外径	浸水抑制機能担保
$\phi d 4$	金属ベローズの外径	浸水抑制機能担保
$\phi d b$	閉止板の外径	浸水抑制機能担保
$\phi d c$	閉止板の内径	浸水抑制機能担保
$\phi d r$	接続リングの外径	浸水抑制機能担保
$\phi d s$	接続リングの内径	浸水抑制機能担保
L	金属ベローズの長さ	浸水抑制機能担保
t	金属ベローズの板厚(ベロー部)	浸水抑制機能担保
d t	金属ベローズの板厚(配管部)	浸水抑制機能担保
t b	閉止板の厚さ	浸水抑制機能担保
t s	継ぎ足しスリーブの厚さ	浸水抑制機能担保
t r	接続リングの厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に配管とスリーブの呼び径を測定してもよい。

解説図 18 配管貫通部止水構造[ブーツタイプ(金属ベローズ)] の寸法検査箇所の例

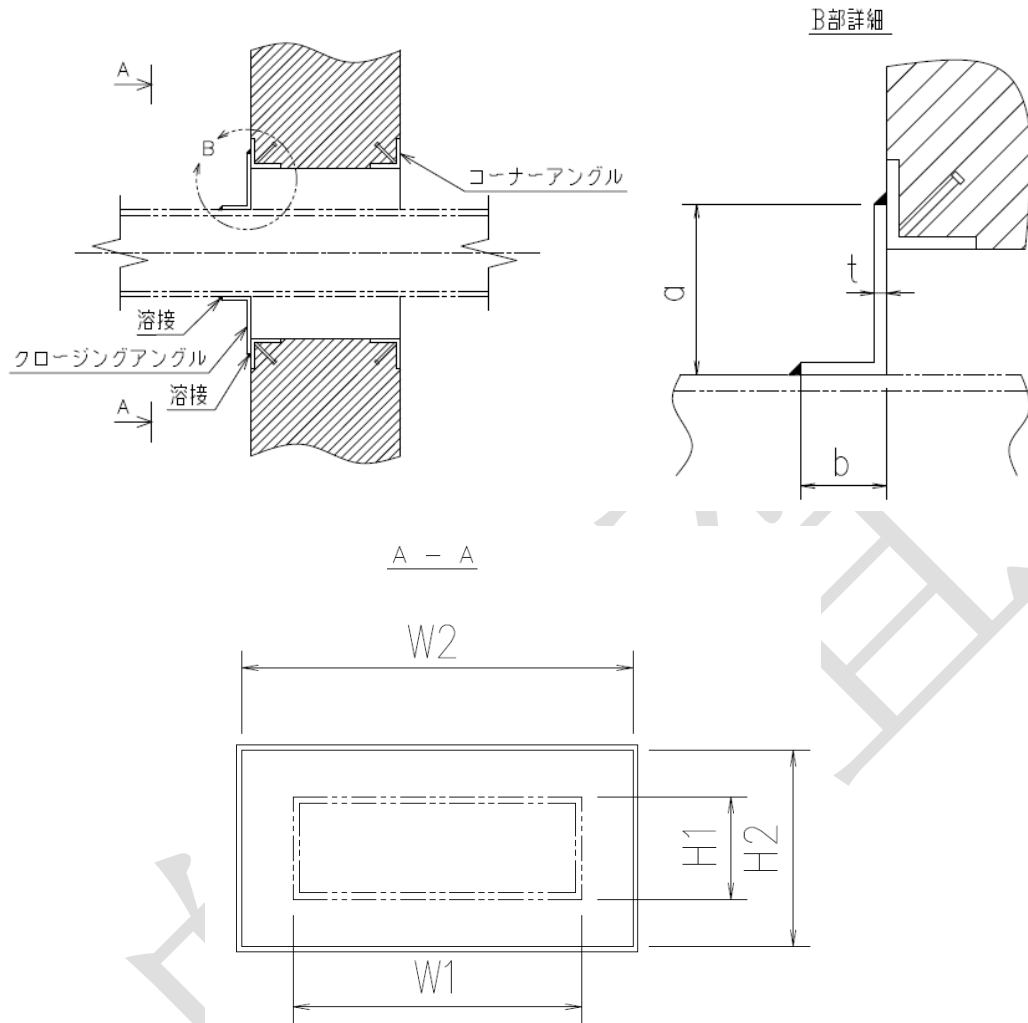
解説表 7 角型ダクト貫通部止水構造（閉止板タイプ）の検査項目の例 ※1

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※3	材料確認	設計で定めた材料であること
製品検査	閉止板の寸法	寸法測定 ※2	公差以内であること
	完成品の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと
受入検査	使用材料 ※3	材料確認	設計で定めた材料であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※2	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	角型ダクトと閉止板との取合部の溶接部の厚さ	寸法測定 ※2	設計で定めた値を満足すること
	角型ダクトと閉止板との取合部の溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
	コーナーアングル及び閉止板との溶接部の外観	目視	溶接欠陥等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

※ 1：本表は角型ダクトと閉止板を溶接する貫通部止水構造の製作，施工の検査項目の例である。

※ 2：解説図 19 参照

※ 3：材料検査及び受入検査を行う使用材料は，閉止板



記号	説明	測定目的
W1	角型ダクトの幅	施工位置特定
W2	角型ダクト開口の幅	施工位置特定
H1	角型ダクトの高さ	施工位置特定
H2	角型ダクト開口の高さ	施工位置特定
t	クロージングアングルの厚さ	浸水抑制機能担保
a	クロージングアングルの高さ	浸水抑制機能担保
b	クロージングアングルの奥行	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に角型ダクトと角型ダクト開口の幅、高さを測定してもよい。

解説図 19 角型ダクト貫通部止水構造（閉止板タイプ）の寸法検査箇所例

解説表 8 角型ダクト貫通部止水構造[充てんタイプ(シール材)]の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
受入検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※2, ※3)	施工時期に使用期限内であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※4	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	シール材の充てん 厚さ ※1	寸法測定 ※1, ※4	設計で定めた値を満足すること
	シール材施工後の外観	目視	割れ等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な 欠陥等の異常がないこと

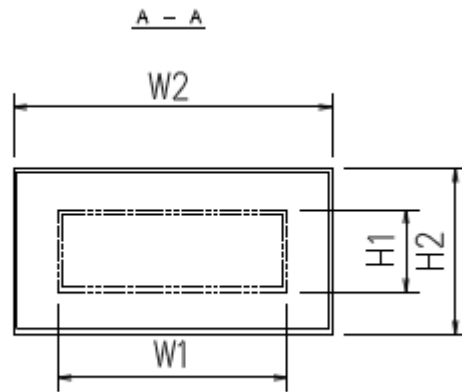
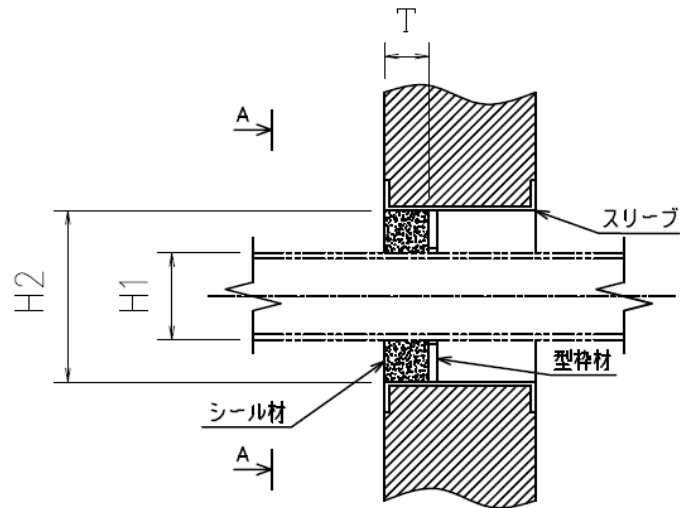
※1：罫書き等に対する型枠材設置位置，シール材施工後のシール材設置位置の確認を行う方法等で間接的にシール材厚さを確認してもよい。

※2：カタログ等にて，製品の内容を確認してもよい。

※3：シール材については使用前にも銘柄，使用期限等に問題ないことの現物確認を行う。

※4：解説図 20 参照

※5：材料検査及び受入検査を行う使用材料は，シール材



記号	説明	測定目的
W1	角型ダクトの幅	施工位置特定
W2	角型ダクト開口の幅	施工位置特定
H1	角型ダクトの高さ	施工位置特定
H2	角型ダクト開口の高さ	施工位置特定
T	シール材の充てん厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に角型ダクトと角型ダクト開口の幅、高さを測定してもよい。

解説図 20 角型ダクト貫通部止水構造[充てんタイプ(シール材)]の寸法検査箇所の例

解説表 9 角型ダクト貫通部止水構造[充てんタイプ(モルタル)]の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※4	材料確認 (記録 ※1)	設計で定めた材料であること
受入検査	使用材料 ※4	材料確認 (記録 ※1)	設計で定めた材料であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※3	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	モルタルの充てん厚さ	寸法測定 ※2, ※3	設計で定めた値を満足すること ※2
	モルタル施工後の外観	目視	割れ等の異常がないこと
	スリーブ及び配管と止水材との接着部の外観	目視	接着部に隙間がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

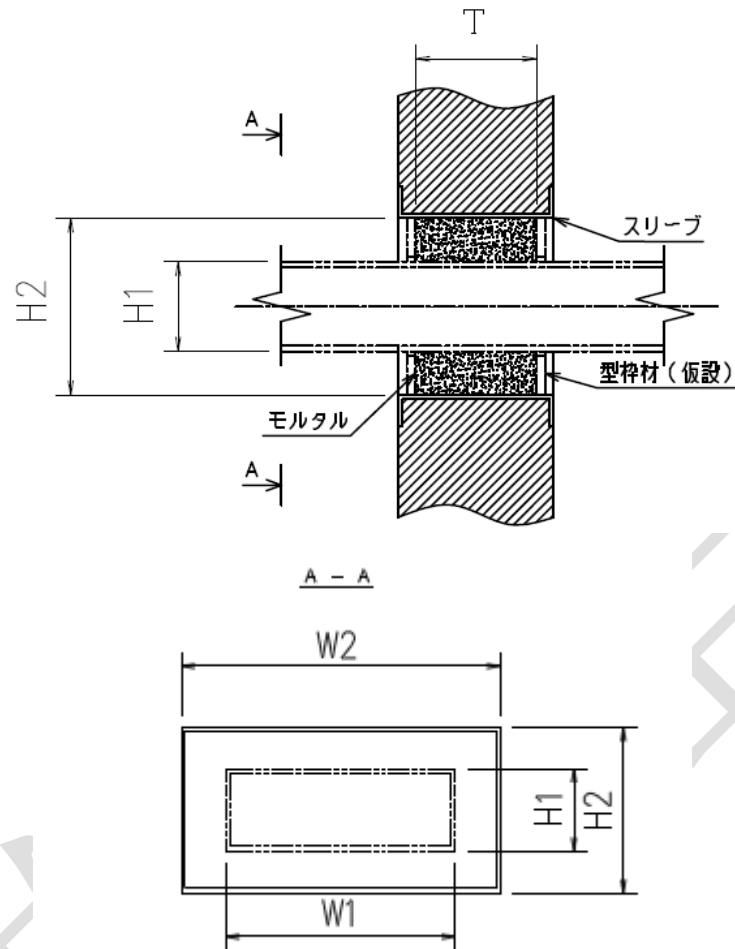
※1：カタログ等にて、製品の内容を確認してもよい。

※2：充てん厚さの代わりに充てん量を測定する方法もある。

なお、充てん量を確認できる方法であれば、充てん量を満たす型枠材位置を測定し確認する方法、及びモルタル充てん口より充てんし、充てん口とは別に空気抜き穴から、モルタルが溢れることを確認することがよい。この際、壁または床の反対側のモルタル流失防止材から、モルタルが流出していないことを確認する。

※3：解説図 21 参照

※4：材料検査及び受入検査を行う使用材料は、モルタル



記号	説明	測定目的
W 1	角型ダクトの幅	施工位置特定
W 2	角型ダクト開口の幅	施工位置特定
H 1	角型ダクトの高さ	施工位置特定
H 2	角型ダクト開口の高さ	施工位置特定
T	モルタルの充てん厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に角型ダクトと角型ダクト開口の幅、高さを測定してもよい。

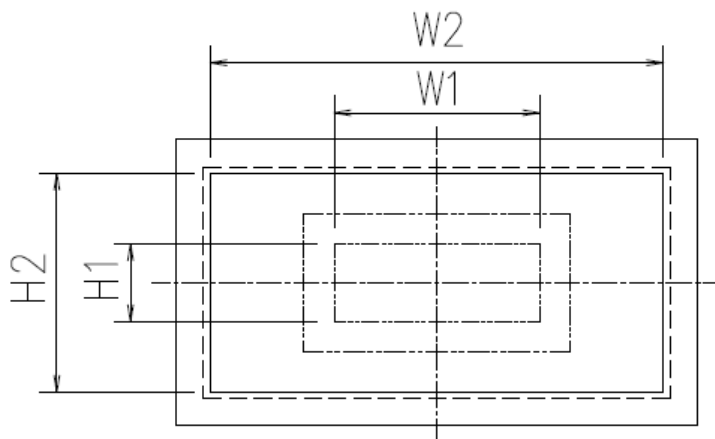
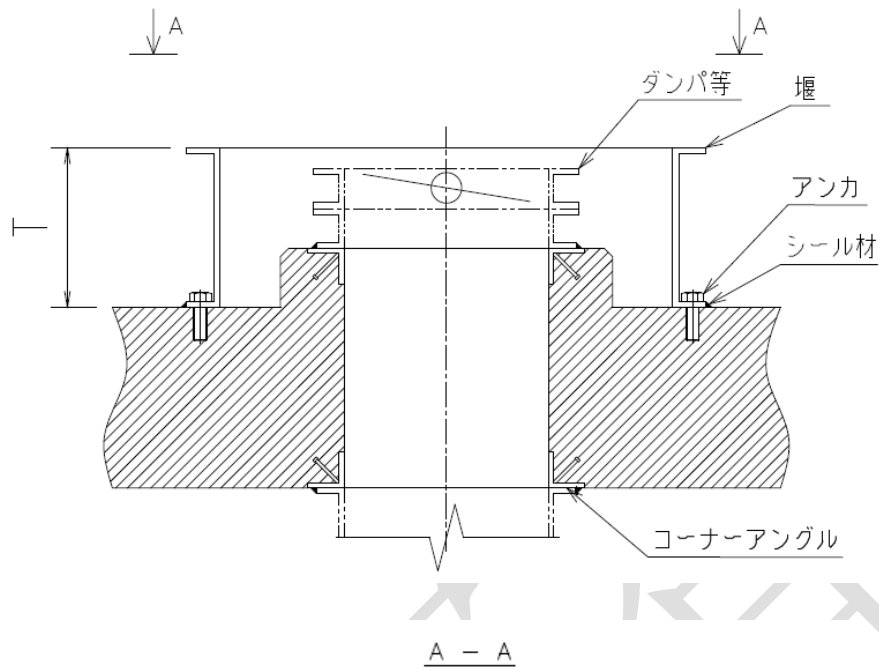
解説図 21 角型ダクト貫通部止水構造[充てんタイプ(モルタル)]の寸法検査箇所の例

解説表 10 角型ダクト貫通部止水構造[鋼製堰タイプ]の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※2	材料確認	設計で定めた材料であること
受入検査	使用材料 ※2	材料確認	設計で定めた材料であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※1	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	鋼製堰の寸法	寸法測定 ※1	設計で定めた値を満足すること
	堰と床のシール材の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと
	鋼製堰の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

※ 1 : 解説図 22 参照

※ 2 : 材料検査及び受入検査を行う使用材料は, 鋼製堰, アンカー



記号	説明	測定目的
W1	角型ダクトの幅	施工位置特定
W2	鋼製堰の幅	浸水抑制機能担保
H1	角型ダクトの奥行	施工位置特定
H2	鋼製堰の奥行	浸水抑制機能担保
T	鋼製堰の高さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に角型ダクトの幅、奥行を測定してもよい。

解説図 22 角型ダクト貫通部止水構造 [鋼製堰タイプ]における寸法検査箇所例

解説表 11 電路貫通部止水構造（ケーブルトレイ，電線管）の検査項目の例

検査工程	検査項目	検査方法	判定基準
材料検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※1, ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※1, ※2)	施工時期に使用期限内であること
受入検査	使用材料 ※5	材料確認 (記録 ※1, ※2)	設計で定めた材料であること
	シール材の使用期限	使用期限の確認 (記録 ※1, ※2)	施工時期に使用期限内であること
施工前検査	施工箇所確認	目視 ※4	設計で定めた位置の貫通部に相違ないこと
施工検査	シール材又はモルタルの 充てん厚さ	寸法測定 ※3, ※4	設計で定めた値を満足すること ※3
	シール材又は モルタル施工後の外観	目視	割れ等の異常がないこと
完成検査	施工完了後の外観	目視	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥等の異常がないこと

※1：カタログ等にて，製品の内容を確認してもよい。

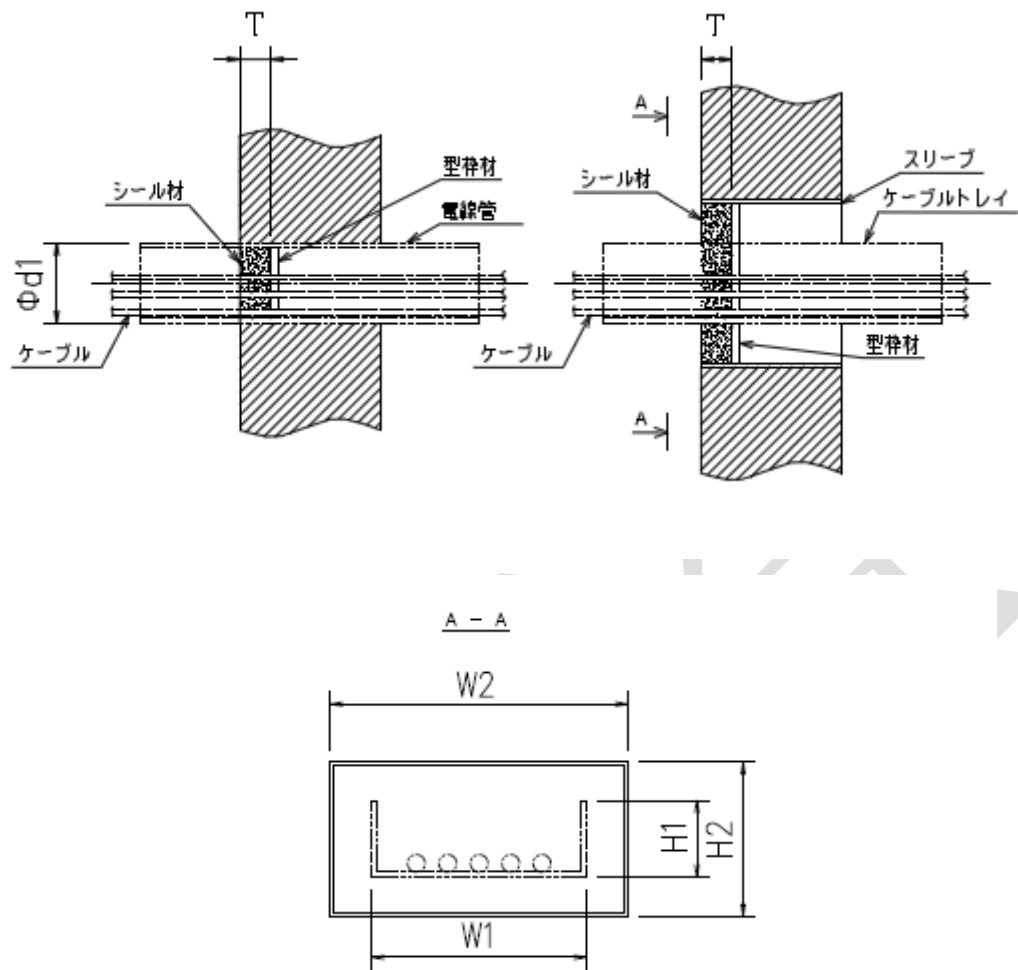
※2：シール材については使用前にも銘柄，使用期限等に問題ないことの現物確認を行う。

※3：充てん厚さの代わりに充てん量を測定する方法もある。

なお，充てん量を確認できる方法であれば，充てん量を満たす型枠材位置を測定し確認する方法，及びモルタル充てん口より充てんし，充てん口とは，別に設けた空気抜き穴から，モルタルが溢れることを確認することがよい。この際，壁または床の反対側のモルタル流失防止材から，モルタルが流出していないことを確認する。

※4：解説図 23 参照

※5：材料検査及び受入検査を行う使用材料は，シール材



記号	説明	測定目的
$\phi d 1$	電線管の呼び径	施工位置特定
W 1	ケーブルトレイの幅	施工位置特定
W 2	スリーブの幅	施工位置特定
H 1	ケーブルトレイの高さ	施工位置特定
H 2	スリーブの高さ	施工位置特定
T	シール材の充てん厚さ	浸水抑制機能担保

(備考)

施工前検査において、設計で指定された位置の貫通部に相違ないことを確認する場合は、貫通部の配置位置を目視し、スリーブ配置図等と照合し判定するが、参考に電線管の呼び径、ケーブルトレイとスリーブの幅、高さを測定してもよい。

解説図 23 電路貫通部止水構造（ケーブルトレイ，電線管）の寸法検査箇所の例

3. 保全

配管等貫通部は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

配管等貫通部止水構造は、ゴム等の有機系材料（高分子材料）やモルタル等の無機系材料、金属材料等で構成されており、それぞれの材料の故障モードを考慮し、複合構造の場合は最も経年劣化の進行が速い材料に着目して点検周期を定めることが望ましい。

特にゴム等の有機系材料（高分子材料）は紫外線、熱、放射線等により劣化が進行するため、材料や使用環境（設置場所等）別に定点サンプリング箇所を定め、定期点検（目視、触診、環境試験片による機械試験若しくは、実機環境を模擬した劣化試験等）により健全性を確認する。

なお、実機環境を模擬した劣化試験については、実機環境が設計条件と合致していることが確認できれば、設計開発時の劣化試験結果を用いてもよい。

解説表 12 に配管等貫通部止水構造の点検の例を示す。

解説表 12 配管等貫通部止水構造の点検の例

貫通部止水構造		故障モード	点検内容	点検方法
充てん タイプ	シール材	割れ	有害な割れ等が発生していないことを確認	目視
		特性の劣化	環境試験片を用いた機械試験や、実機環境を模擬した劣化試験等により、機械特性データを取得し、劣化程度を確認	材料調査※1
	モルタル	割れ	有害な割れ等が発生していないことを確認	目視
閉止板 タイプ	シール材	割れ	有害な割れ等が発生していないことを確認	目視
		特性の劣化	環境試験片を用いた機械試験や、実機環境を模擬した劣化試験等により、機械特性データを取得し、劣化程度を確認	材料調査※1
	溶接部	割れ	溶接部に有害な割れ等が発生していないことを確認	目視※2
ブーツ タイプ	ラバー ブーツ	緩み	調整リング、締付け金具に緩みがないことを確認	目視
		割れ	ラバーに有害な割れ等がないことを確認	目視
		特性の劣化	環境試験片を用いた機械試験や、実機環境を模擬した劣化試験等により、機械特性データを取得し、劣化程度を確認	材料調査※1
	金属 ベローズ	腐食、割れ	構成材料表面に腐食等が発生していないこと、溶接部に有害な割れ等が発生していないことを確認	目視※2

※1：使用環境と同等かそれ以上の条件で実施されている暴露試験のデータで評価してもよい。

また、劣化確認のひとつとして、引張試験を行い、引張強さ、伸びを測定し、破壊状態を確認する方法有り。

※2：必要に応じ浸透探傷試験（PT）等を実施し、割れか否かを判断してもよい。

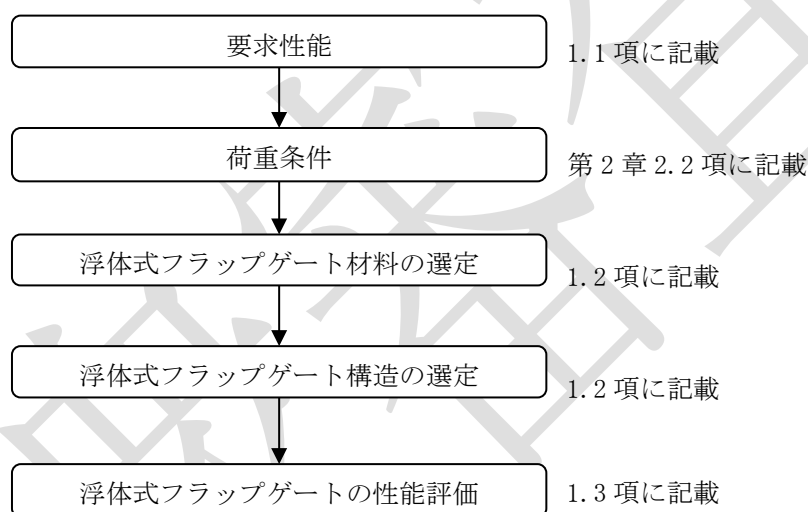
附属書E（参考） 浮体式フラップゲート

常閉できない防水壁の開口部や建物の出入口、建屋壁面開口部、建屋内空調路及び建屋内トンネル空間部等に設けられ、平常時は通路等として機能することが求められるが津波来襲時等には浮体利用により無動力・無操作で開口を閉塞して浸水防止機能を発揮する設備である。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

浮体式フラップゲートは、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図1に浮体式フラップゲートの設計手順を示す。

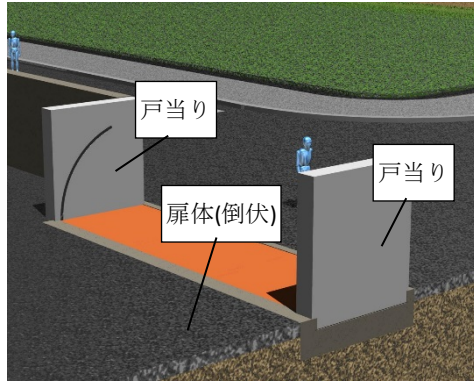


解説図1 浮体式フラップゲートの設計手順

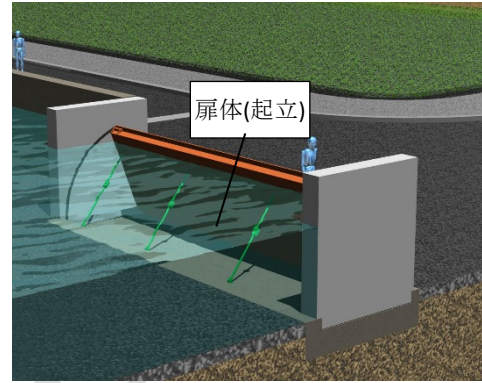
なお、浮体式フラップゲートの各開口部に応じた適用事例を以下に示す。

- ・ 防水壁の開口部、建屋の出入口（平面設置式）

解説図2に平面設置式の基本構造を示す。本形式は主に、扉体及び戸当りで構成され、平常時は倒伏した扉体が平坦な路面としての機能を有する。浸水時において、扉体は水位に追従して起立・倒伏する。そのため、本形式は防水壁の開口部、建屋の出入口等、平常時に開口部の往来利便性を確保したい箇所に適する。



(a) 平常時（扉体倒伏）

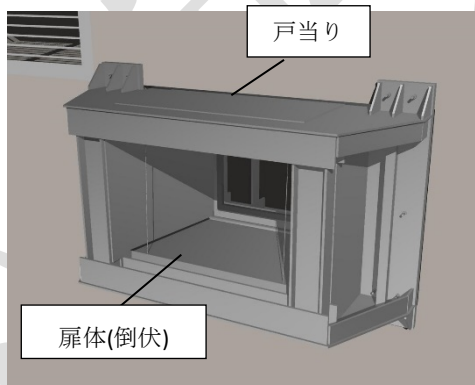


(b) 浸水時（扉体起立）

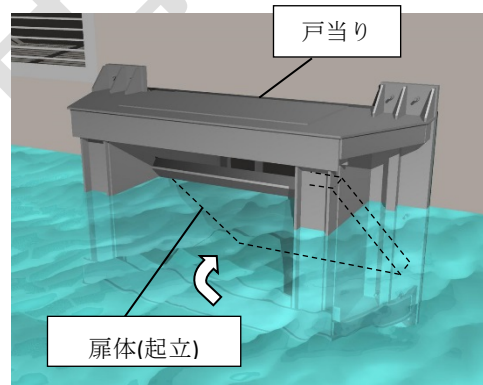
解説図 2 平面設置式の基本構造

・建屋壁面開口部（壁面設置式）

解説図 3 に壁面設置式の基本構造を示す。本形式は主に、扉体及び戸当りで構成され、戸当りは壁面に取り合う構造となっている。なお、浸水時に扉体は水位に追従して起立・倒伏する。そのため、本形式は建屋壁面開口部において常時閉塞が難しい箇所に適する。



(a) 平常時（扉体倒伏）

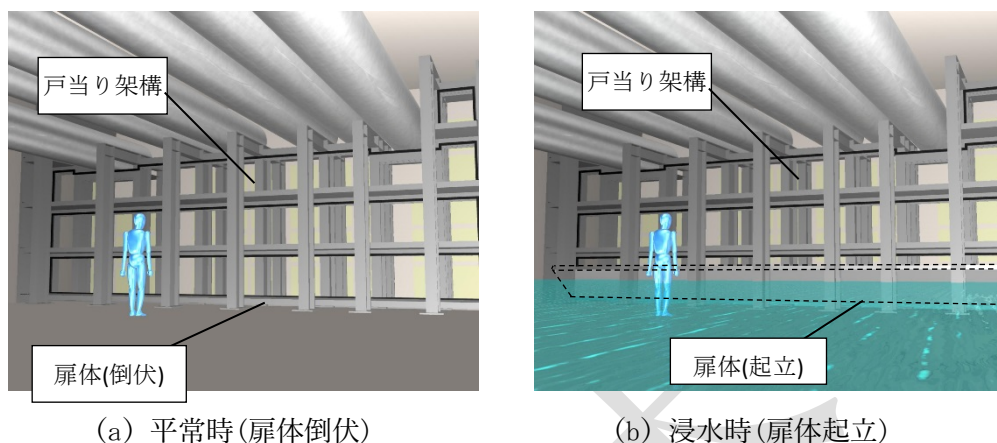


(b) 浸水時（扉体起立）

解説図 3 壁面設置式の基本構造

・建屋内トンネル空間部（大断面設置式）

解説図 4 に大断面設置式の基本構造を示す。本形式は主に、扉体及び戸当り架構で構成される。本形式は、開口幅方向に複数起立補助装置を設け、また、開口高さ方向に扉体を複数段設けることで、建屋内トンネル空間部のような比較的大きな断面を閉塞する場合に適する。



解説図 4 大断面設置式の基本構造

各形式の特徴及び適用箇所について、解説表 1 に示す。また、設置実績より参考寸法も併記する。

解説表 1 形式比較表

形式	平面設置式	壁面設置式	大断面設置式
水密方式	3 方水密 ※1	3 方水密 ※1 及び 後面 4 方水密 ※2	3 方水密 ※1 及び 後面 4 方水密 ※2
動作形態	水位に追従 (自動開閉)	水位に追従 (自動開閉)	水位に追従 (自動開閉)
適用箇所	防水壁の開口部 建屋の出入り口	建屋壁面開口部	建屋内トンネル 空間部
参考寸法 (実績より)	開口幅：～20.0m 有効高：～4.0m	開口幅：～6.0m 開口高：～4.5m	—

※1：3方水密は、平面設置式、壁面設置式及び大断面設置式の起立途中において、側部と底部が水密ラインとなる状態。

※2：後面4方水密は、壁面設置式、大断面設置式において、完全起立時に後面額縁状の4辺に当接し水密する状態。

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。耐水圧性能では、繰り返しの津波を考慮する。

なお、浮体式フラップゲートにおける浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さ、浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

また、浮体式フラップゲートは、平常時は開口部の開放状態を保持し、浸水時において無動力・無操作にて開口部を自動閉鎖することが望ましい箇所に適用される。

1.2 材料及び構造

(使用条件)

浮体式フラップゲートの構造部材及び止水パッキンは、開閉頻度、環境条件等の使用条件を考慮した上で材料選定を行う必要がある。例えば、飛来塩分の影響を受ける場所では、構造部材は発錆による特性変化がないような材料を選定する等の配慮が必要である。

(材料)

構造部材は、以下に示す関連規格、その他適切と認められる基準等に基づき許容応力度を設定する。

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019⁽³⁾

(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010⁽⁴⁾

(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001⁽⁵⁾

(一社)電力土木技術協会：水門鉄管技術基準-付解説-，2015⁽⁸⁾

止水パッキンは、使用条件、荷重条件等を考慮したうえで適正な材料を選定する。

(構造)

耐震性能、耐水圧性能を付与するためには、浮体式フラップゲートに作用する荷重の伝わり方に即した評価対象部材を選定した上で、それらの発生応力及び変形が使用材料の許容値に対して妥当な余裕を有するような仕様とし、荷重が作用した場合でも、浸水防止機能に影響を与えるような過度の変形が発生しないこと、すなわち、おおむね弾性範囲を超えないことを確認する。

(構造計画)

浮体式フラップゲートの構造部材を確認した上で評価対象部材を選定する。例えば、浮体式フラップゲートに作用する津波荷重が、スキンプレートから桁材に伝わり、扉体張力部材を躯体に固定するアンカーボルトを介し、躯体に伝達される場合には、評価対象部材は、スキンプレート、桁材、テンションロッド及びアンカーボルトとなる。浮体式フラップゲートに作用する地震力が、底部支承等の扉体支承部材から床版に伝わり、床版を躯体に固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達される場合には、評価対象部材は扉体支承部材、床版及びアンカーボルトとなる。また、耐震性能の評価を行う際には、浮体式フラップゲートの開閉状態（閉鎖、開放）を考慮するとともに、寸法公差及び施工時の据付精度については、(一社)電力土木技術協会：水門鉄管技術基準-付解説-，2015⁽⁸⁾等を参考に設計で管理値を決定することが望ましい。

浸水抑制性能を維持するためには、浮体式フラップゲートに荷重が作用した場合でも、止水パッキンと止水面が適切に当接するように配慮する。

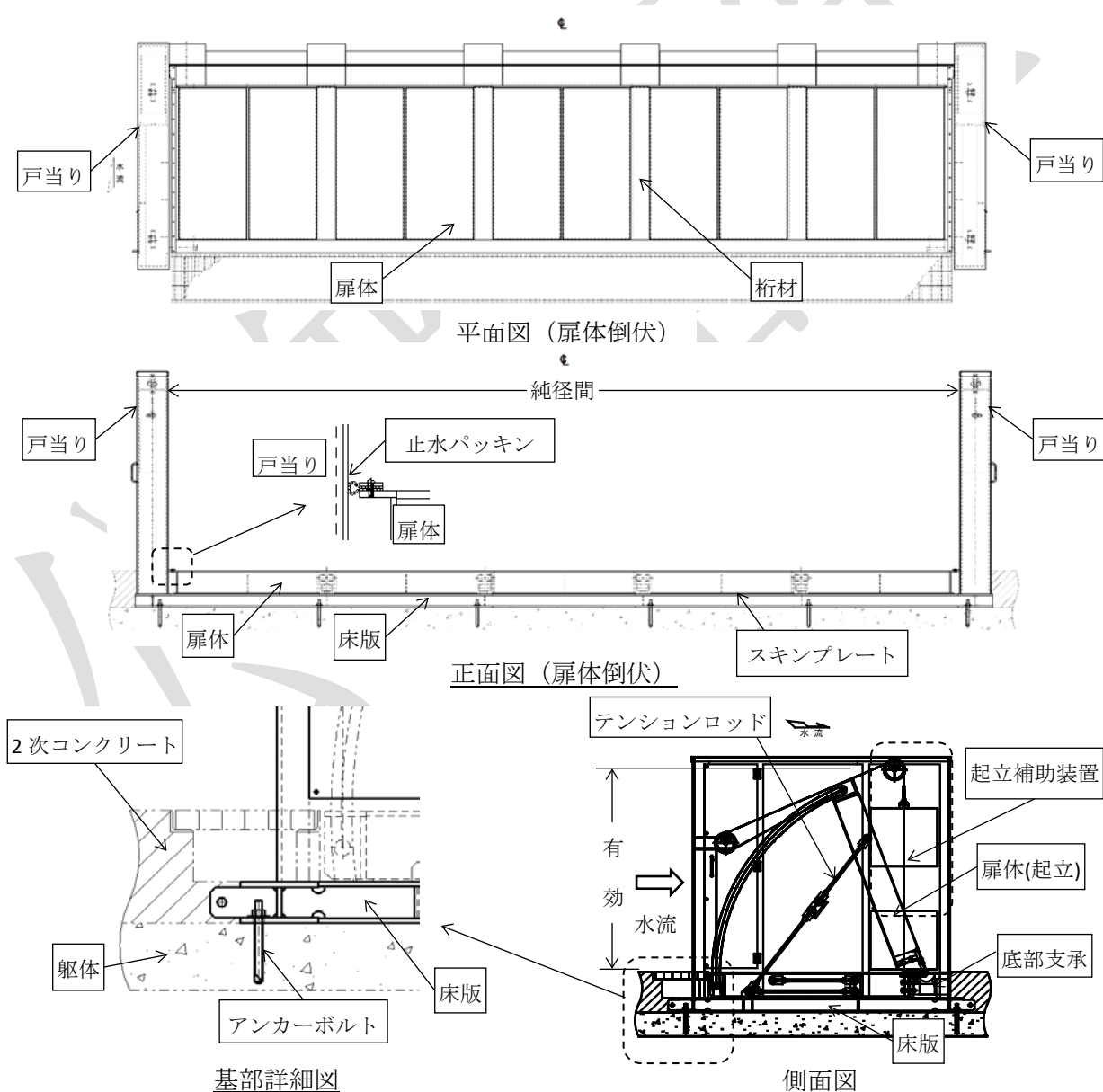
なお、浮体式フラップゲートが取り付く躯体は、浮体式フラップゲートの支持機能が維持されるよう設計する。

(平面設置式の構造例)

扉体 (スキムプレート, 桁材), 底部支承, 止水パッキン, 戸当り (起立補助装置含む), 床版等で構成されており, アンカーボルトで基礎躯体に固定されている。解説図 5 に浮体式フラップゲート (平面設置式) の設置の例, 解説図 6 に浮体式フラップゲート (平面設置式) の構造部材配置の例を示す。



解説図 5 浮体式フラップゲート (平面設置式) の設置の例



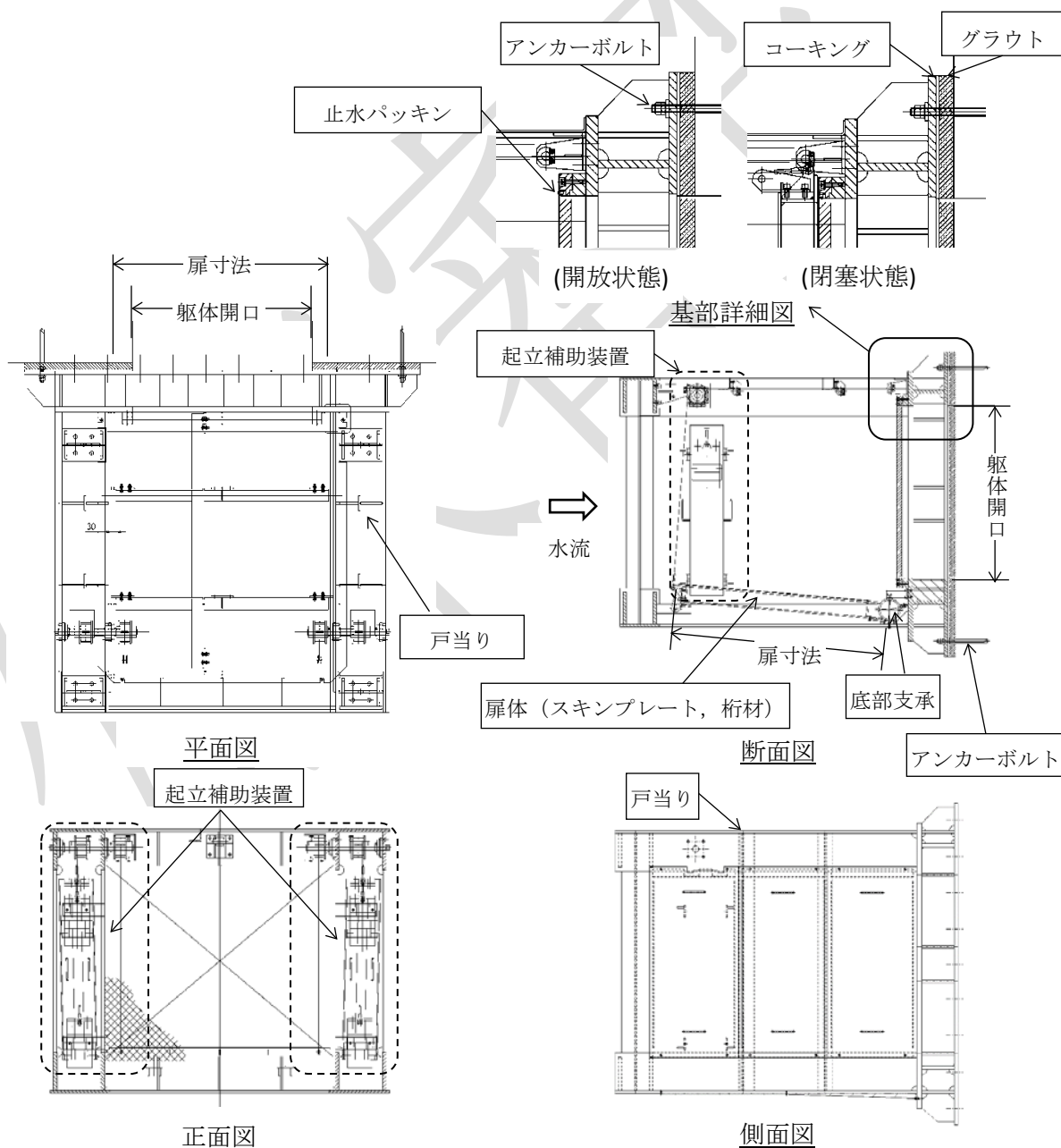
解説図 6 浮体式フラップゲート (平面設置式) の構造部材配置の例

(壁面設置式の構造例)

扉体 (スキンプレート, 桁材), 底部支承, 止水パッキン, 戸当り (起立補助装置含む) 等で構成されており, アンカーボルト, 埋込金物等で躯体に固定されている。解説図 7 に浮体式フラップゲート (壁面設置式) の設置の例, 解説図 8 に浮体式フラップゲート (壁面設置式) の構造部材配置の例を示す。



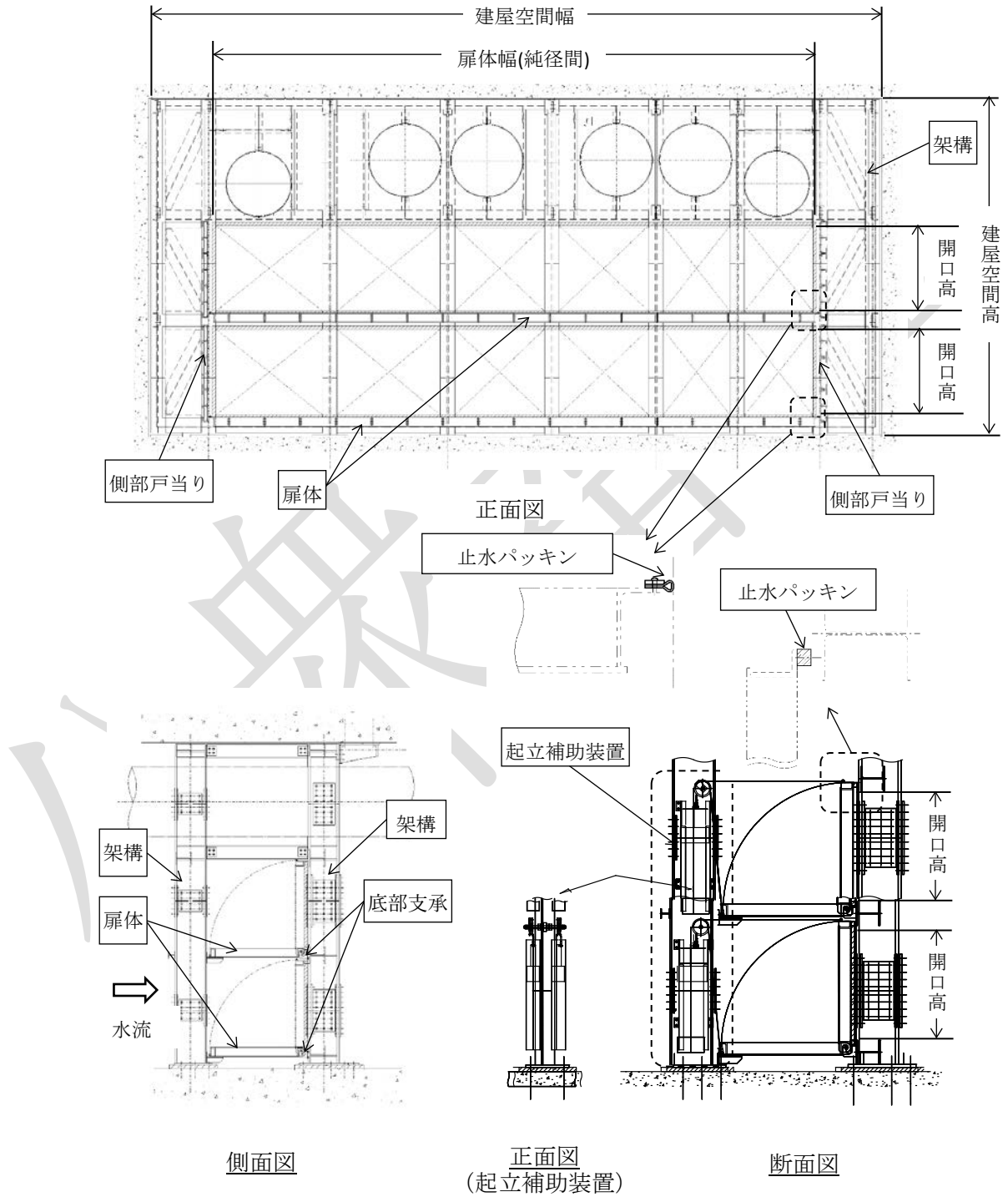
解説図 7 浮体式フラップゲート (壁面設置式) の設置の例



解説図 8 浮体式フラップゲート (壁面設置式) の構造部材配置の例

(大断面設置式の構造例)

扉体 (スキムプレート, 桁材), 底部支承, 止水パッキン, 側部戸当り, 架構, 起立補助装置等で構成されており, アンカーボルトで躯体に固定されている。解説図 9 に浮体式フラップゲート (大断面設置式) の構造部材配置の例を示す。



解説図 9 浮体式フラップゲート (大断面設置式) の構造部材配置の例

1.3 性能評価

浮体式フラップゲートに要求される性能のうち、耐震性能、耐水圧性能については、荷重が作用した場合でも、浮体式フラップゲートの構造部材が、おおむね弾性範囲内に設定されていることで要求性能を満足していることが確認できる。

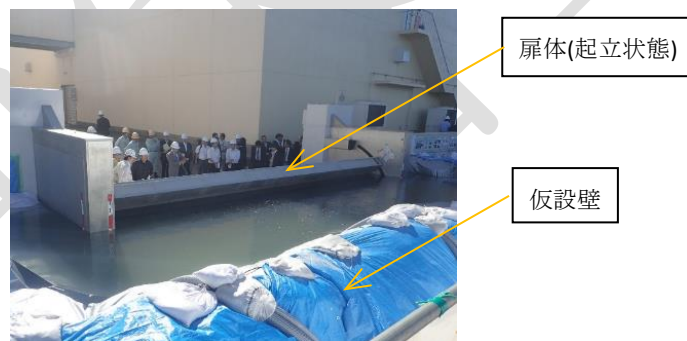
浸水抑制性能を評価する許容漏水量及び浸水による作動応答性は、浮体式フラップゲートの性能評価を行う上での重要な項目であるため、性能試験による検証が望ましい。

浮体式フラップゲートが取り付けられるコンクリート壁等は剛性が高いため、地震を想定した加振と津波を想定した加圧の重畳を想定した試験ではなく、剛な試験装置で変形を抑えて試験する方法も有効である。よって、工場等での性能試験、模擬体での試験、部分的な実大模擬体モデルによる試験も有効であり、供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

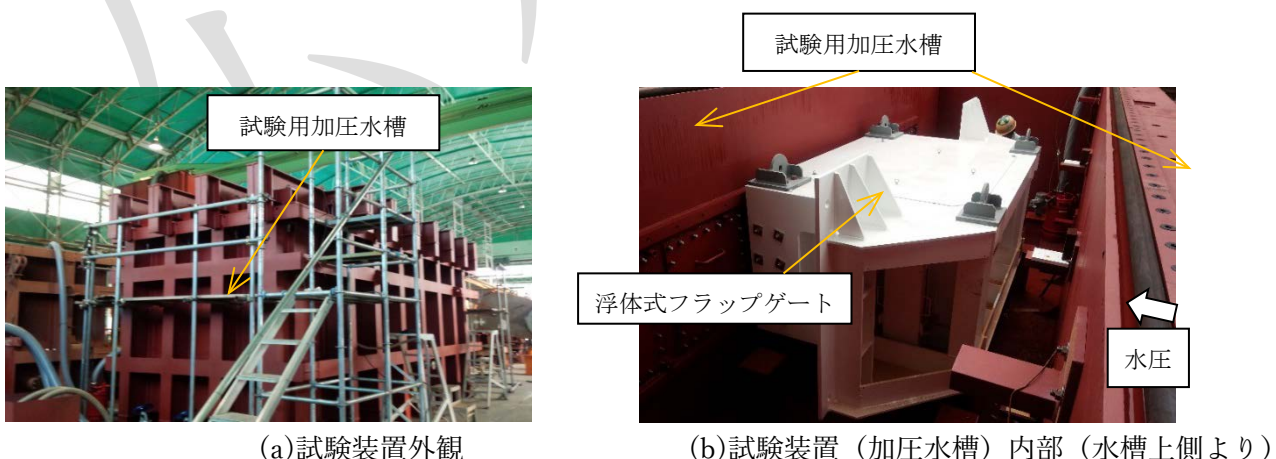
性能試験では、実際に作用する動的荷重と同等の静的荷重で代替することも可能である。

なお、同等の静的荷重を設定する際には、(一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程 (JEAC4629-2014) ⁽¹⁾が参考となる。

解説図 10 及び解説図 11 に浮体式フラップゲートの性能試験の例、解説図 12 及び解説図 13 に浮体式フラップゲートの性能試験系統図の例を示す。



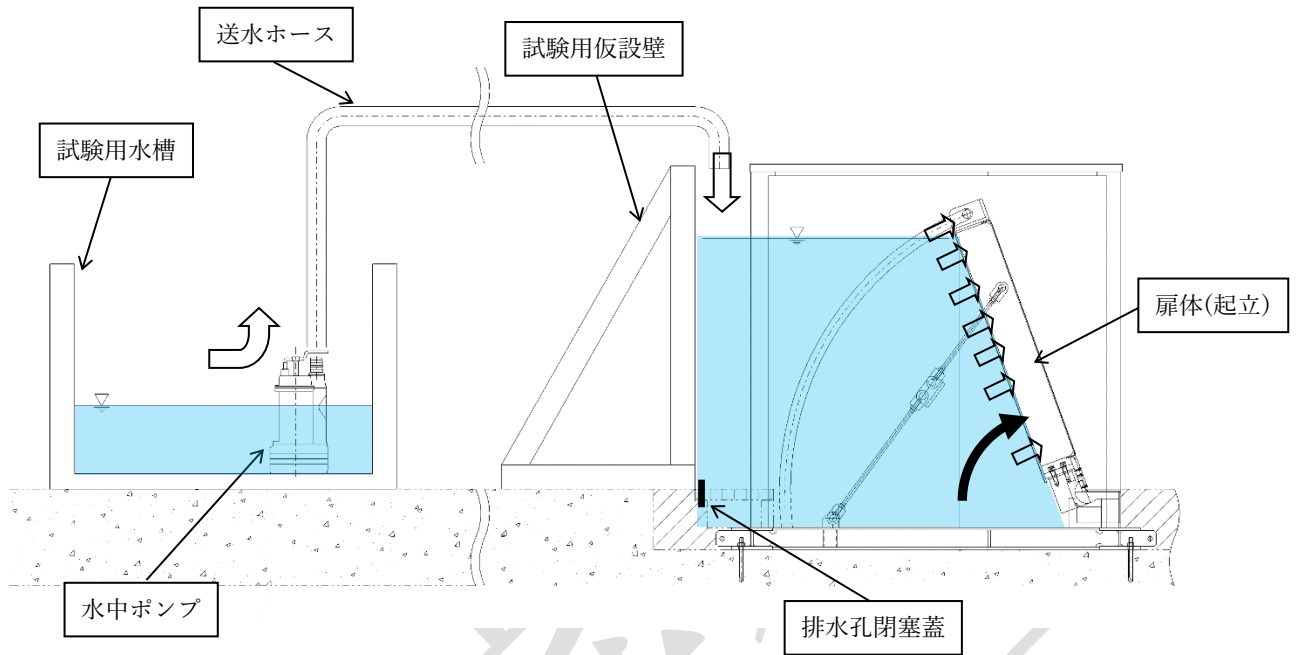
解説図 10 浮体式フラップゲート(平面設置式)の性能試験の例



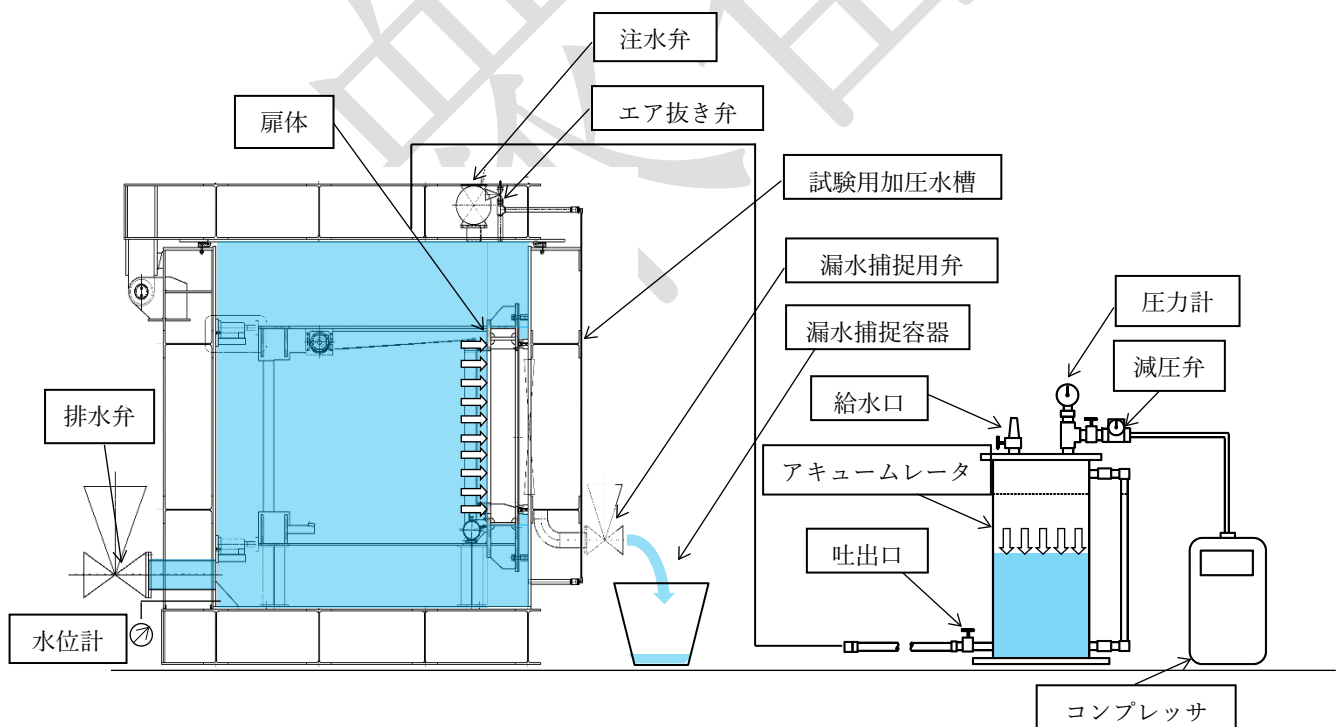
(a)試験装置外観

(b)試験装置(加圧水槽)内部(水槽上側より)

解説図 11 浮体式フラップゲート(壁面設置式)の性能試験の例



解説図 12 浮体式フラップゲート(平面設置式)の性能試験系統図の例



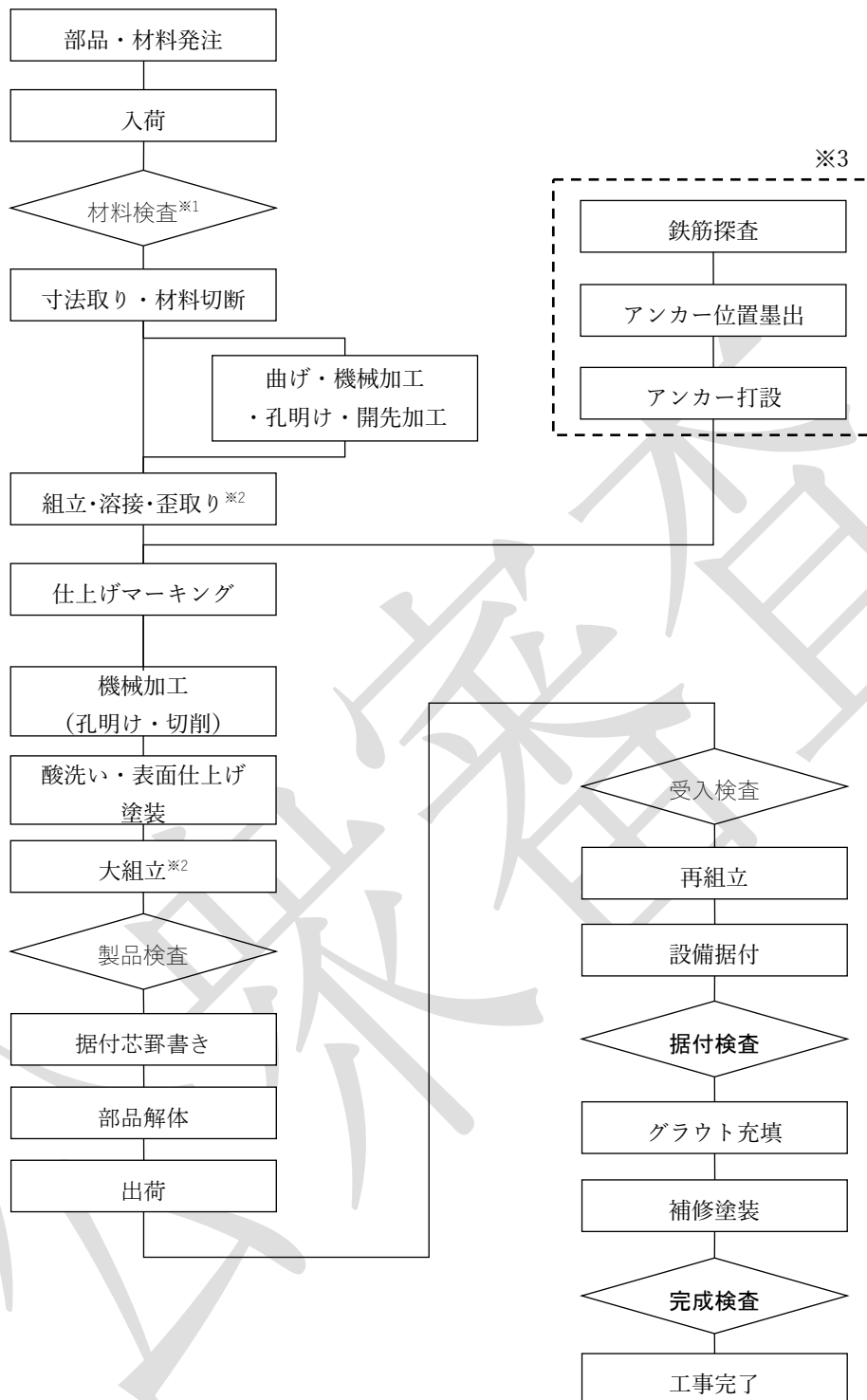
解説図 13 浮体式フラップゲート(壁面設置式)の性能試験系統図の例

1. 製作，現地据付工事

以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では，評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については，（一社）電力土木技術協会：水門鉄管技術基準-付解説-，2015⁽⁸⁾等より決められた管理値内であることを確認する。また，浮体式フラップゲートにおける止水バウンダリのうち，製作段階で隠蔽部になる溶接部については，製作期間中での検査を行う。
工場製作段階で取り付ける止水パッキンについては，当り検査により当りに問題ないことを確認する。当り検査の方法については，チョークテスト，検査紙テスト，すきまゲージテスト等から適切な方法を選択して実施する。
可動部の初期浮上力については，作動開始荷重の計測等により確認する。
また，必要に応じて，試験用水槽等を用いた動作確認及び水密検査を実施する。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，浮体式フラップゲートの要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，浮体式フラップゲートが設計で定めた据付精度内で所定の位置に据付けられていることを確認する。据付精度については，（一社）電力土木技術協会：水門鉄管技術基準-付解説-，2015⁽⁸⁾等より決められた管理値内であることを確認する。
- (5) 完成検査では，止水ダンパの要求性能に影響を与える変形等がないこと，及び動作確認を実施する
完成検査では，浮体式フラップゲートの要求性能に影響を与える変形等がないことを確認する。また，必要に応じて，動作確認及び初期浮上力の計測等を実施する。浮体式フラップゲートにおける止水バウンダリのうち，現地据付工事で取り付ける止水パッキンについては，当り検査を行い，止水パッキンの当りに問題ないことを確認する。当り検査の方法については，チョークテスト，検査紙テスト，すきまゲージテスト等から適切な方法を選択して実施する。

解説図 14 に浮体式フラップゲートの製作，現地据付工事フローの例，解説図 15 及び解説図 16 に浮体式フラップゲートの製品検査の実施状況例，解説図 17 に浮体式フラップゲートの据付検査の実施状況例，解説図 18 及び解説図 19 に浮体式フラップゲートの完成検査の実施状況例を示す。また，解説表 2 に浮体式フラップゲートの検査方法の例を示す。

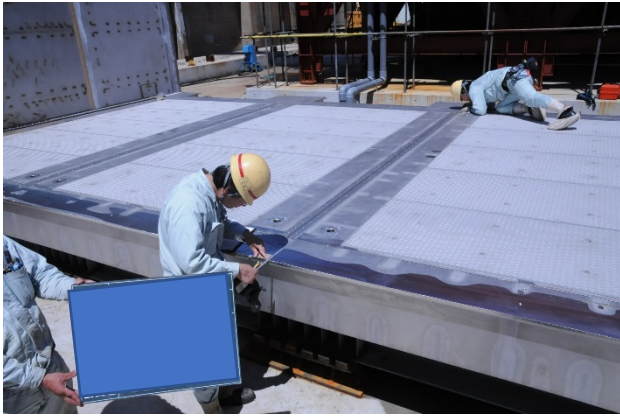


※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：出荷時に確認できない箇所がある場合，必要に応じて製品検査を実施する。

※3：既設構築物に設置する場合，必要に応じて実施する。

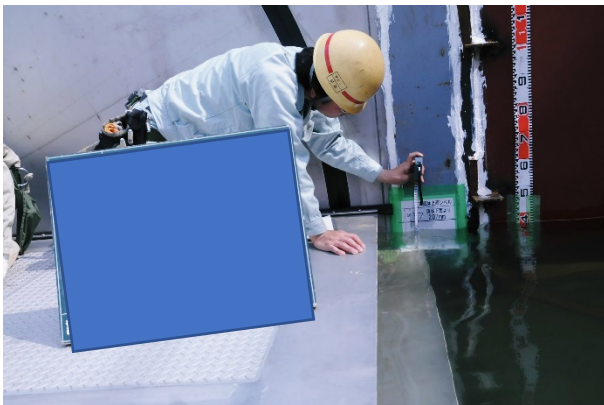
解説図 14 浮体式フラップゲートの製作，現地据付工事フローの例



扉体寸法



側部戸当り寸法



初期浮上力確認（湛水確認）



水密検査（湛水確認）

解説図 15 浮体式フラップゲート(平面設置式)の製品検査の実施状況例

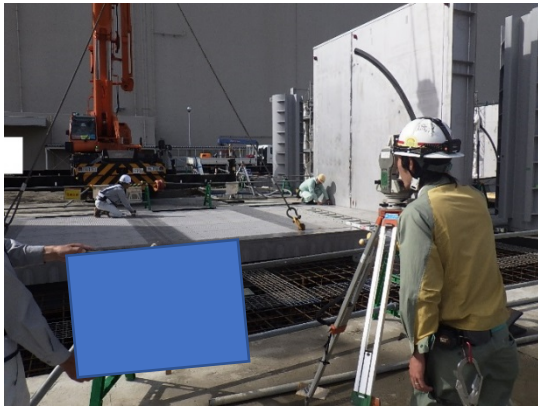


動作確認



止水パッキンの当り(目視確認)

解説図 16 浮体式フラップゲート(壁面設置式)の製品検査の実施状況例



側部戸当りゴム摺動部の平面度

解説図 17 浮体式フラップゲート(平面設置式)の据付検査の実施状況例



動作確認

止水パッキンの当り (すきまゲージテスト)

解説図 18 浮体式フラップゲート(平面設置式)の完成検査の実施状況例



動作確認

初期浮上力確認 (作動開始荷重の計測)

解説図 19 浮体式フラップゲート(壁面設置式)の完成検査の実施状況例

解説表 2 浮体式フラップゲートの検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
	止水パッキン	試験成績書	設計で定めた性能を有すること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
	止水バウンダリ	非破壊検査, 目視	浸水抑制性能を担保する止水バウンダリの溶接に欠陥がないこと
		当り検査	止水パッキンが扉体と密着していること
	可動部	初期浮上力確認試験	扉体の浮上力が許容範囲内にあること
		動作確認試験	可動部が円滑に動作すること
受入検査	浮体式フラップゲート	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	浮体式フラップゲート	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査 ※2	浮体式フラップゲート	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
	止水パッキン	当り検査	止水パッキンが扉体と密着していること
	可動部	初期浮上力確認試験	扉体の浮上力が許容範囲内にあること
		動作確認試験	可動部が円滑に動作すること

※1：評価対象部材：スキンプレート，桁材，扉体支承部材等

※2：立会い若しくは記録確認

2. 保全

浮体式フラップゲートには、所定の浸水深で確実に浮上開始し、所定の浸水抑制性能を発揮することが求められる。

浮体式フラップゲートは、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

止水パッキンの交換に際しては、設計図に定められた正規の止水パッキンと同等の性能を有するものを使用し、据付時に実施する完成検査のうち、止水パッキンの当り確認と同等の検査（チョークテスト、検査紙テスト、すきまゲージテスト等）を実施し、止水パッキンが密着していることを確認する。

可動部の作動抵抗増大は、浸水に伴う浮上開始のタイミングに直接影響を与えるため、定期的に可動部の動作抵抗を確認する必要がある。作動抵抗の増大が所定の値に達した場合は、可動部の分解・清掃等を行い、管理値以下になるよう整備する。

解説表 3 に浮体式フラップゲートの点検の例を示す。

解説表 3 浮体式フラップゲートの点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂, 大きなへこみがないことを確認	目視
扉体, 戸当り, 支承等	1回/年	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視
可動部	1回/年	固着	扉体の浮上動作を阻害するような固着, 異常な抵抗がないことを確認	手動装置による作動確認
起立補助装置	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような損傷・摩耗がないことを確認	目視

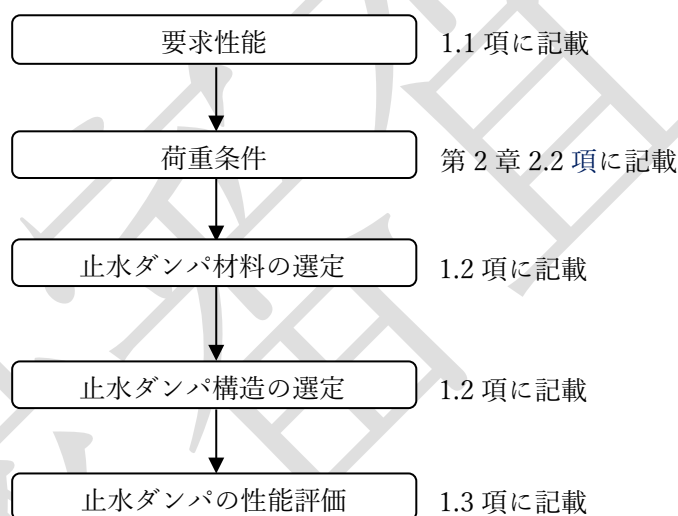
附属書 F（参考） 止水ダンパ

空調ダクトに設けられ、無動力・無操作で開口を閉塞して浸水防止機能を発揮する設備である。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

止水ダンパは、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を維持できるように設計する。解説図 1 に止水ダンパの設計手順を示す。



解説図 1 止水ダンパの設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。

なお、止水ダンパにおける浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さ、浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

また、止水ダンパは、平常時は開放状態を保持し、地震時には誤動作により閉鎖せず、浸水時において無動力・無操作にて開口部を閉鎖することが望ましい箇所に適用される。

止水ダンパは通常の建屋内空調ダクト系統と接続することになるため、止水ダンパ設置時の系統としての耐震性についても考慮する必要がある。

1.2 材料及び構造

（材料）

構造部材は、以下に示す関連規格、その他適切と認められる基準等に基づき許容応力度を設定する。

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019⁽³⁾

(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010⁽⁴⁾

(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001⁽⁵⁾

止水パッキンは，使用条件，荷重条件等を考慮したうえで適正な材料を選定する。

(構造)

止水ダンパの構造は，その閉鎖の仕組みによって，重力式と浮体式に大別される。それぞれの構造概要を以下に示す。

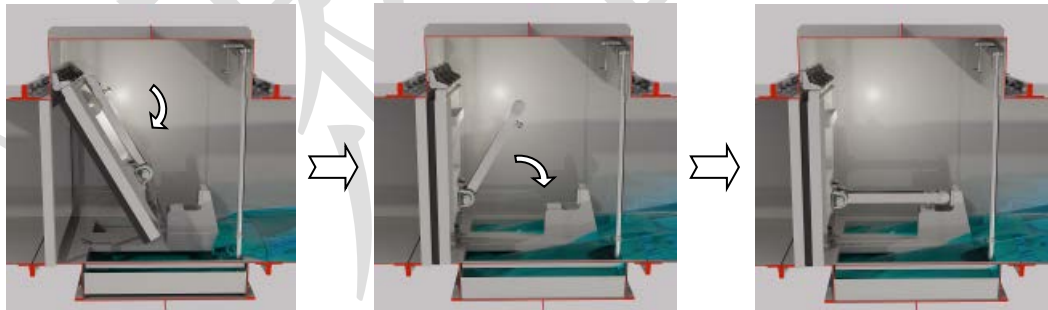
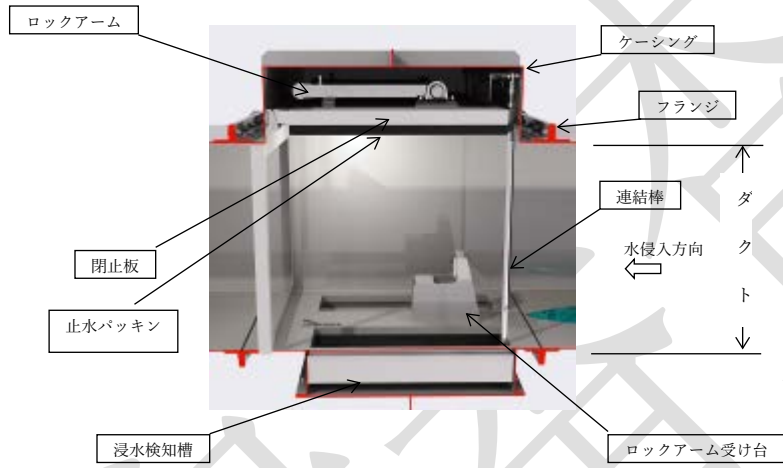
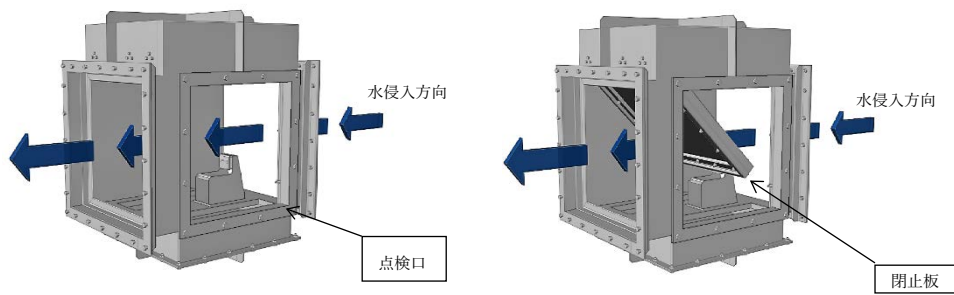
重力式止水ダンパは，ケーシング，閉止板，止水パッキン，浸水検知槽，連結棒，ロックアーム等で構成されており，ボルトで空調ダクトに固定される。重力式止水ダンパでは，浸水により浸水検知槽が下がり連結棒を介して閉止板の留め具が外れ，自重により閉止板が下がり開口部を閉塞する。その後はロックアーム及び静水圧にて閉塞状態を維持する。

浮体式止水ダンパは，扉体（スキンプレート，桁材），底部軸，止水パッキン，ケーシング，キャッチ，起立補助装置等で構成されており，ボルトで空調ダクトに固定される。浮体式止水ダンパでは，浸水により扉体に作用する浮力を利用して自動的に開口部を閉塞し，その後は閉塞状態を維持する。

解説図 2 に止水ダンパ（重力式），解説図 3 に止水ダンパ（浮体式）の構造例及び作動例を示す。

(関連文献)

- ・ ICONE27-1145 FLOOD PREVENTION DAMPER
- ・ ICONE27-1359 DEVELOPMENT OF AUTOMATIC FLOAT-TYPE WATER DAMPER

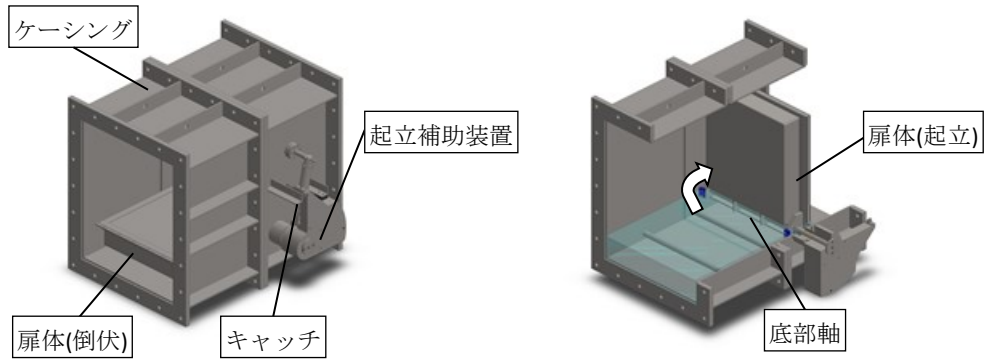


浸水により
閉止板が下がる

閉止板の全閉反動で
ロックアームが下がる

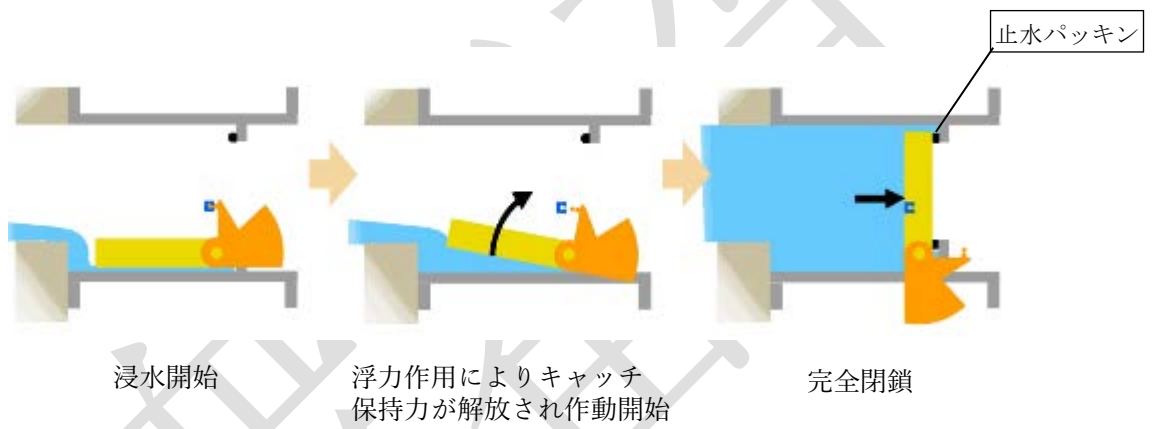
ロックアームが受け台
にロックされ閉止動作終

解説図 2 止水ダンパ（重力式）の構造例及び作動例



(a) 平常時(扉体倒伏)

(b) 浸水時(扉体起立)



解説図 3 止水ダンパ（浮体式）の構造例及び作動例

1.3 性能評価

止水ダンパに要求される性能のうち、耐震性能については、荷重が作用した場合でも、止水ダンパの構造部材が、おおむね弾性範囲内に設定されていることで要求性能を満足していることが確認できる。

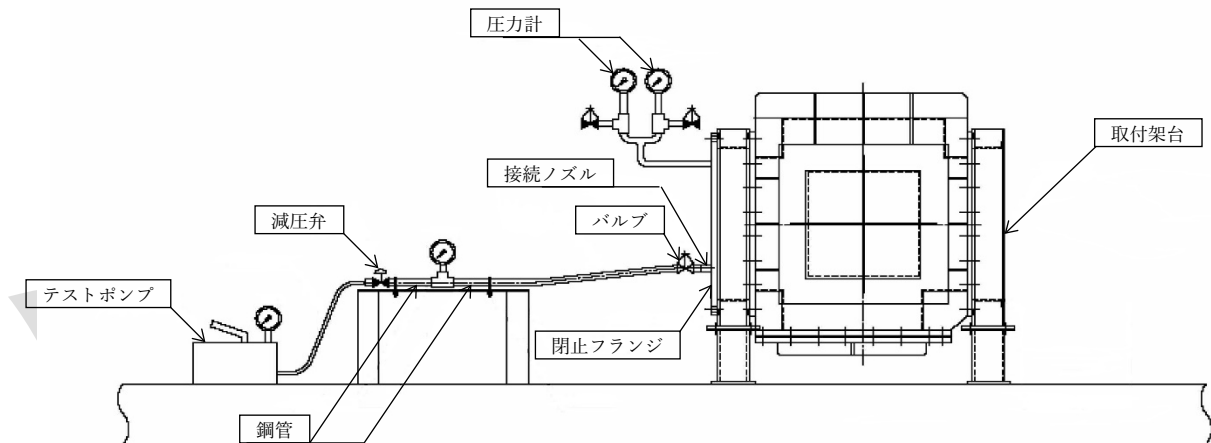
浸水抑制性能を評価する許容漏水量及び浸水による作動応答性は、止水ダンパの性能評価を行う上での重要な項目であるため、性能試験による検証が望ましい。

さらに、止水ダンパは通常時は空調ダクト流路となるが、浸水時には確実に浸水抑制性能を発揮させなければならないため、加振試験及び風洞試験により誤動作有無についても設計条件に応じた性能試験による検証を実施することが望ましい。

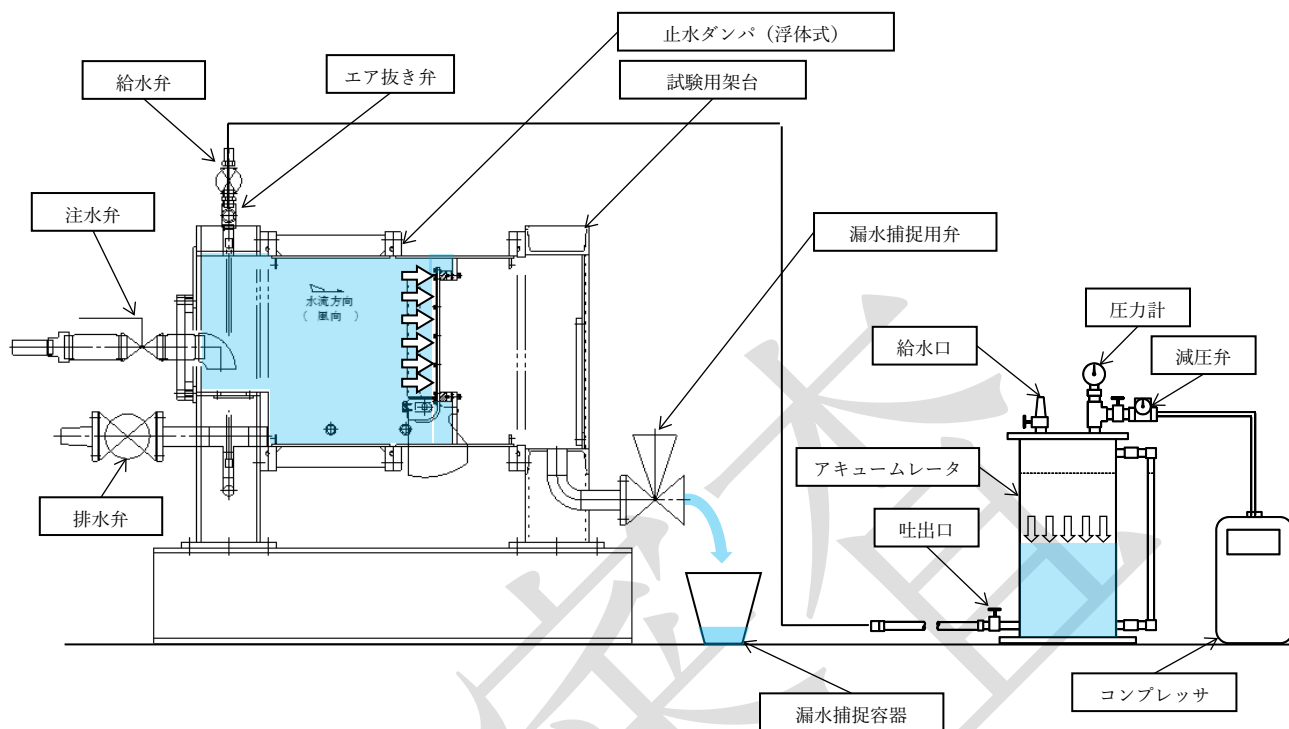
止水ダンパを設置する支持構造部の剛性が高いことを条件とすれば、剛な試験装置で変形を抑えて試験する方法も有効である。よって、工場等での性能試験、模擬体での試験、部分的な実大模擬体モデルによる試験も有効であり、供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

性能試験では、実際に作用する動的荷重と同等の静的荷重で代替することも可能である。

解説図 4 及び解説図 5 に性能試験系統図の例を示す。



解説図 4 止水ダンパ（重力式）の性能試験系統図の例
（許容漏水量試験の例）



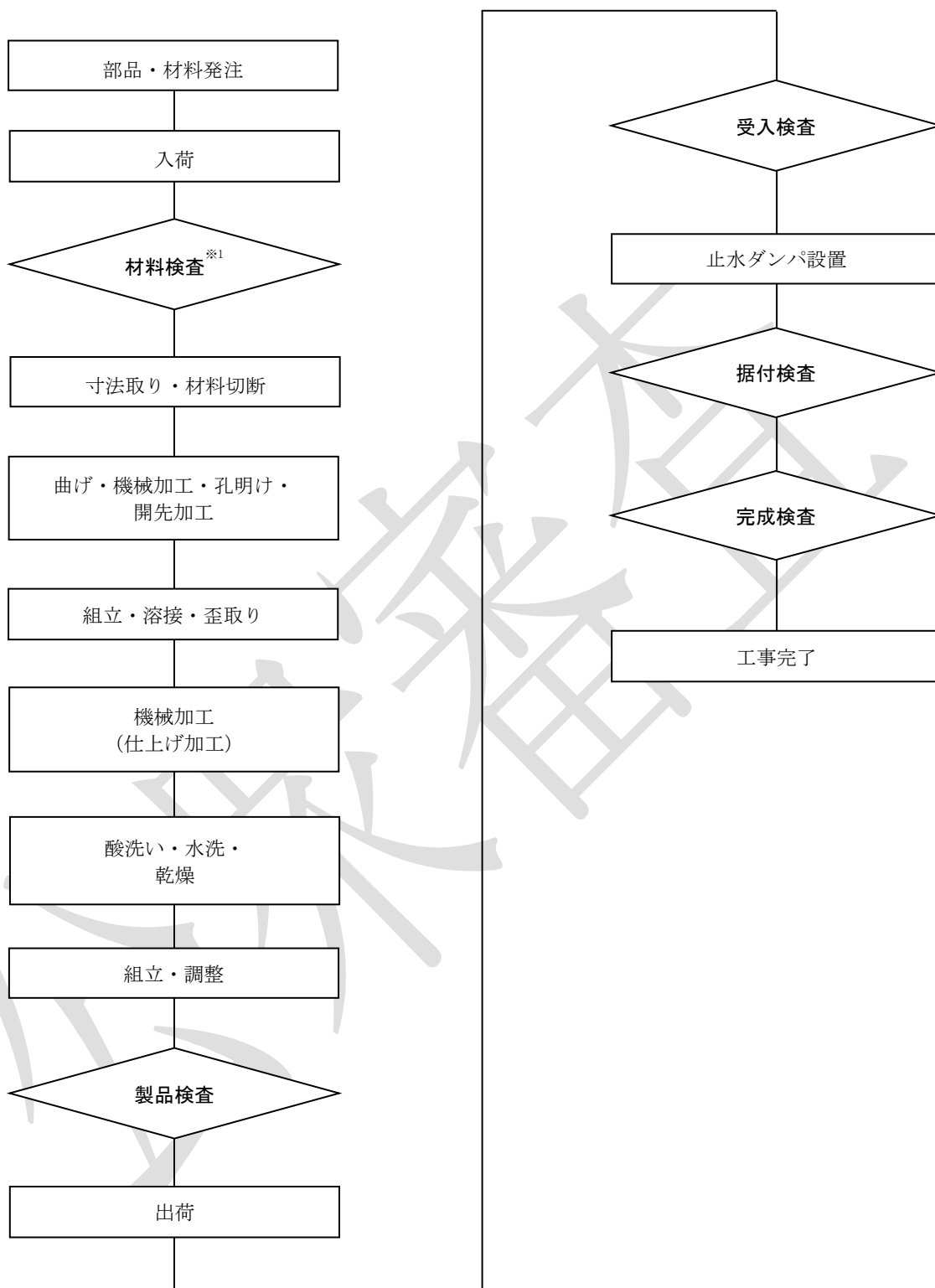
解説図5 止水ダンパ（浮体式）の性能試験系統図の例
 （作動応答性及び許容漏水量試験の例）

2. 製作，現地据付工事

以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では，評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていること，及び浸水抑制性能を確認する。寸法公差については，JIS 等により決められた管理値内であることを確認する。
また，止水のための溶接等を含む止水バウンダリについては，製作期間中での検査を行う。
浸水抑制性能の確認については，水密検査及び耐圧・漏えい検査にて実施する。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，止水ダンパの要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，止水ダンパが設計で定めた据付精度内で所定の位置に据付けられていることを確認する。
- (5) 完成検査では，止水ダンパの要求性能に影響を与える変形等がないこと，及び動作確認を実施する。

解説図 6 に止水ダンパの製作，現地据付工事フローの例，解説表 1 に止水ダンパの検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

解説図 6 止水ダンパの製作，現地据付工事フローの例

解説表 1 止水ダンパの検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
製品検査	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
	止水バウンダリ	非破壊検査, 目視	浸水抑制性能を担保する止水バウンダリの溶接に欠陥がないこと
		水密検査	設計水圧を作用させ, 止水部からの漏水量が許容値以下であること
	止水ダンパ	作動検査	閉止動作に問題のないこと
耐圧・漏えい検査		設計水圧を作用させ, 止水ダンパに有害な変形がないこと	
受入検査	止水ダンパ	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査	止水ダンパ	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査	止水ダンパ	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと, 作動部及び止水パッキンに有害な傷・変形等がないこと
		動作確認	据付後の止水ダンパの動作に問題がないこと

※1：評価対象部材：【重力式】 本体（ケーシング）、閉止板、フランジ、点検口等の耐圧構成部材
【浮体式】 扉体（スキンプレート、桁材）、底部軸、ケーシング等

3. 保全

止水ダンパには、所定の浸水に対し確実に流路を閉鎖し、所定の浸水抑制性能を発揮することが求められる。

止水ダンパは、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

止水パッキンの交換に際しては、設計図に定められた正規の止水パッキンと同等の性能を有するものを使用し、止水パッキンの当り面の検査（チョークテスト、検査紙テスト、すきまゲージテスト等）を実施し、止水パッキンが密着していることを確認する。

可動部の作動抵抗増大は、浸水に伴う閉止動作に直接影響を与えるため、定期的に可動部の作動抵抗を確認する必要がある。作動抵抗の増大が所定の値に達した場合は、可動部の分解・清掃等を行い、管理値以下になるよう整備する。

解説表 2、3 に止水ダンパの点検の例を示す。

解説表 2 止水ダンパ（重力式）の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂及び大きなへこみがないことを確認	目視
閉止動作部 (可動部)	1回/年	固着	閉止動作が確実に行われ、固着及び異常な抵抗がないことを確認	手動による 作動確認
しゅう動部	1回/年	劣化, 損傷	目視確認を行い、劣化・損傷等が発生していないか確認	目視

解説表 3 止水ダンパ（浮体式）の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
止水パッキン	1回/年	劣化,損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂及び大きなへこみがないことを確認	目視
ケーシング, 底部軸等	1回/年	変形,腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視
可動部 (キャッチ含む)	1回/年	固着,劣化	可動部の動作を阻害するような固着及び異常な抵抗がないことを確認	手動による作動確認

附属書G（参考） ドレン逆流防止弁

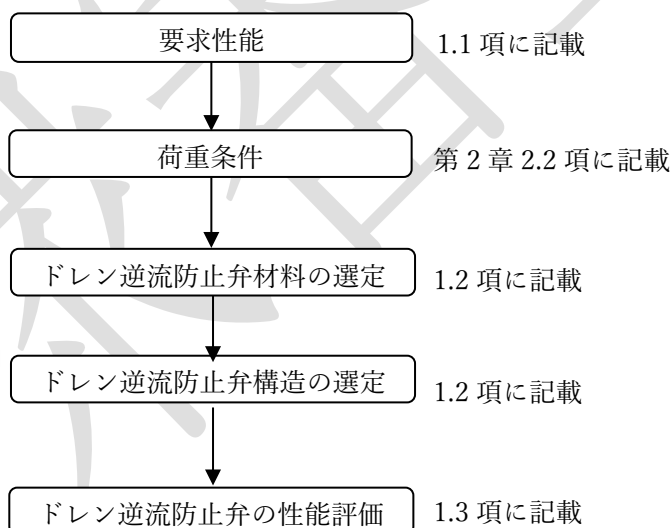
排水系ドレンラインに設けられる設備で、浸水防止機能を有する設備である。浸水防止機能以外にも火災の際の煙及び放射性ダストの拡散を防止する機能を有するものもあるが、本技術指針では、浸水防止の機能担保について示す。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

ドレン逆流防止弁は要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水防止機能を発揮できるように設計する。解説図1にドレン逆流防止弁の設計手順を示す。

ここでいうドレン逆流防止弁とは、ドレンラインに設けられる設備である。例えば、排水の目的で設置された施設内と施設外を結ぶ貫通孔（例えば発電所海水取水ポンプエリアにおける雨水排水用の排水口）へ設置する津波対策弁及び、建屋内に設置された床目皿、機器ファンネル、その他建屋内で発生したドレンを排水するための機器に取り付ける内部溢水対策弁である。



解説図1 ドレン逆流防止弁の設計手法

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能である。耐水圧性能では、繰り返しの津波を考慮する。なお、ドレン逆流防止弁における浸水抑制性能は、漏水を許容しないものではなく、安全機能設備の設置高さ、浸水防護重点化範囲の広さ等から許容漏水量を設定する。

1.2 材料及び構造

（使用条件）

ドレン逆流防止弁の構造部材は、使用環境の条件を考慮した上で材料選定を行う必要がある。例えば海水が含まれると想定される場合は、耐腐食性を考慮した材料が望ましい。

(材料)

構造部材に関して、関連規格、適切と認められる規準等を準用し、許容応力を設定する。

弁座材質は、使用条件、荷重条件等を考慮した上で適正な材料を選定する。特に使用場所によっては、耐食性が高い材質を選定する必要がある。

(構造)

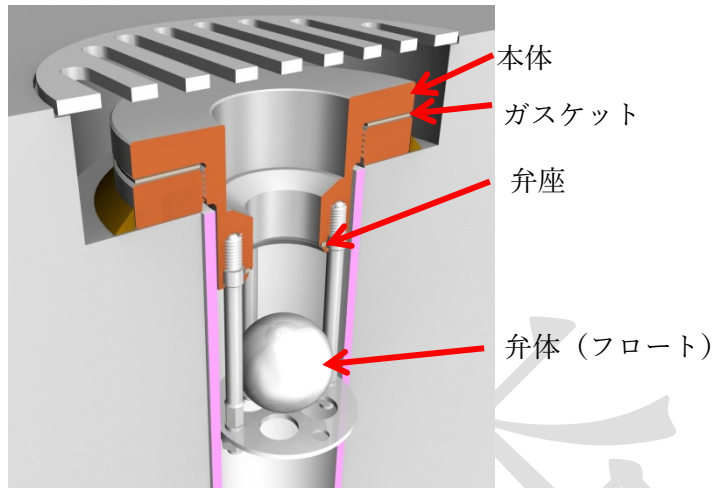
ドレン逆流防止弁としては、通常時は開弁している逆流防止弁（フロート式逆流防止弁等）と通常時は閉弁している逆流防止弁（ディスク式、スイング式逆流防止弁等）の2種類がある。通常時は開弁している逆流防止弁は、通常時は開弁しているため、弁と弁座が固着する可能性がない。

フロート式逆流防止弁について構造を説明する。解説図2に示すように、本体、弁座、弁体（フロート）、ガスケットで構成されている。解説図3に示すように、津波・溢水時には、フロートの浮力により、閉弁するため、外部の動力を必要としない。

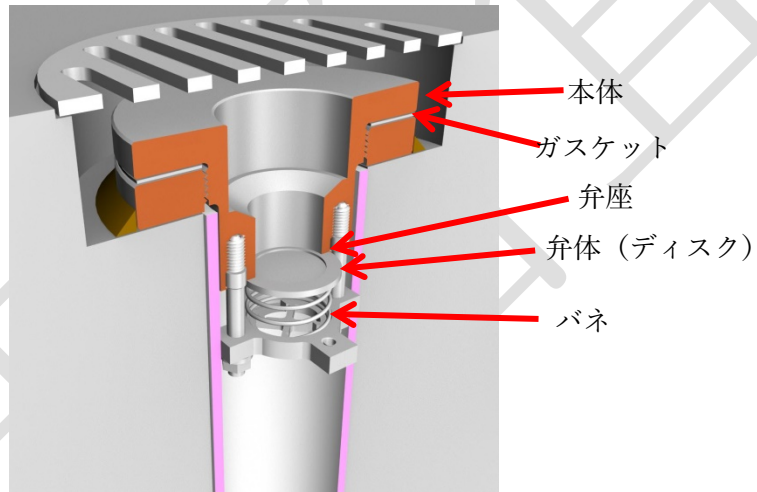
ディスク式逆流防止弁について説明する。解説図2に示すように、本体、弁座、バネ、弁体（ディスク）、ガスケットで構成されている。通常時には、バネの弾性力により、閉弁しているため、閉弁に外部の動力を必要としない。

耐震性能、耐水圧性能、浸水抑制性能を付与するためには、ドレン逆流防止弁に作用する荷重の伝わり方に即した評価対象部材を選定する。その上で、それらの発生応力、変形が使用材料の許容応力に対して十分な余裕を有する構造（設計）とし、荷重が作用した場合でも、おおむね弾性範囲を超えないことを確認する。

特に、津波が直接作用する場合は、閉弁する際に、水撃現象が発生する可能性があるため、水撃現象による圧力上昇に耐え得る構造とする必要がある。

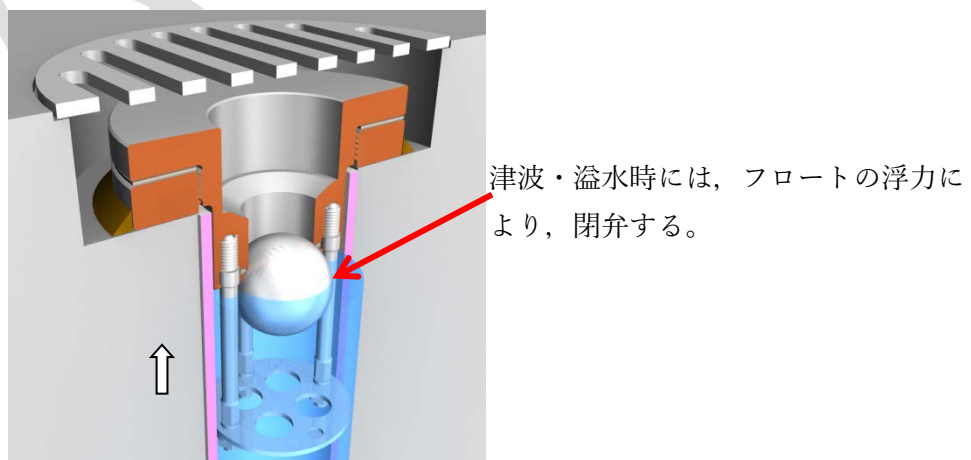


通常時は開弁している逆流防止弁
(フロート式逆流防止弁)



通常時は閉弁している逆流防止弁
(ディスク式逆流防止弁)

解説図 2 ドレン逆流防止弁の構造例



解説図 3 ドレン逆流防止弁 (フロート式逆流防止弁) の動作原理

(取付方法)

ドレン逆流防止弁は、所定の浸水抑制性能を実現する必要がある。

通常時は閉弁している逆流防止弁を用いる場合には、以下に注意する必要がある。

(1) 開弁に必要な水頭圧を確保できるように配管をレイアウトする。

(2) 通常時には、一定量の排水がドレン逆流防止弁の上部に滞留するため、汚れの付着による浸水抑制性能の低下を、防止する必要がある。

例として、フロート式逆流防止弁の固定方法を示す。

ドレン配管中に設置：フランジ、ネジ止めにより固定する。

床面のドレン排水管に直接設置：アンカーボルトで床面に固定する

金具を床に固定し、金具にネジ止めにより固定する。

1.3 性能評価

ドレン逆流防止弁に要求される性能のうち、耐震性能、耐水圧性能については、荷重が作用した場合でも、ドレン逆流防止弁の構造部材が、おおむね弾性範囲内に設定されていることで要求性能を満足していることが確認できる。

許容漏水量は、性能評価を行う上で重要な項目であるため、性能試験による検証が望ましい。試験系統の例を解説図 4 に示す。

加振試験は、以下の 2 つの条件で実施するのが望ましい

(1) 水を入れていない状態

(2) 水を入れている状態(解説図 5)

加えて、津波が直接作用する場合は、逆流による水撃現象を想定した試験を実施することが望ましい。水撃現象を同等な静的荷重で代替することも可能である。静的荷重の計算式の例として、ジューコフスキーの式がある。(出典 機械工学便覧 流体工学 α 4)

$$\Delta p = \rho \alpha \Delta u$$

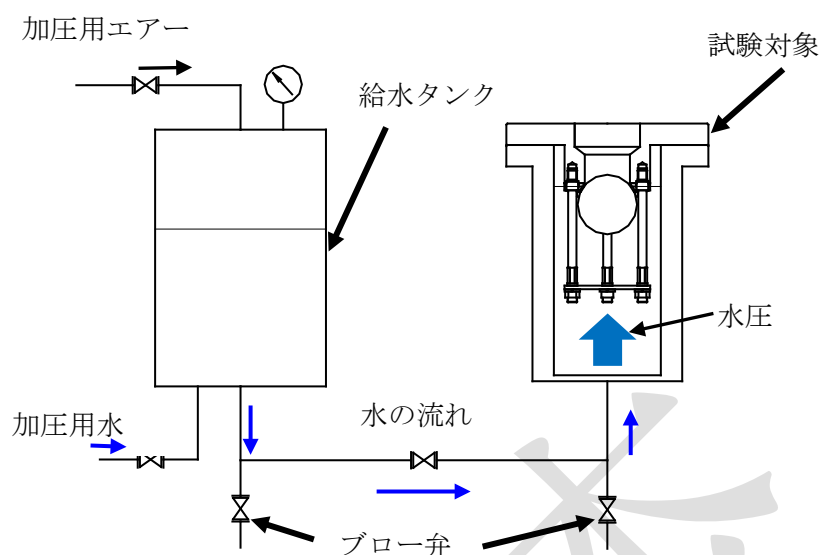
Δp : 圧力変化

ρ : 水の密度

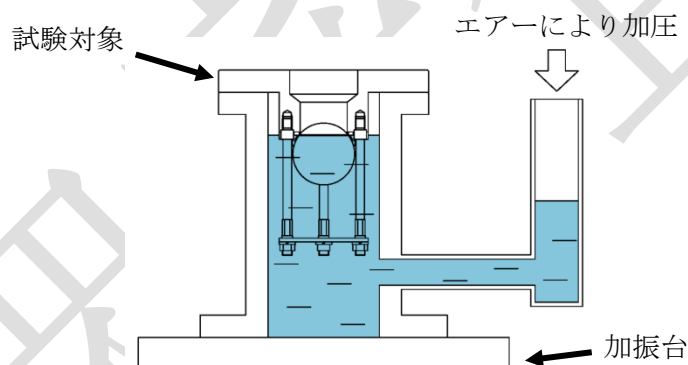
α : 水の音速

Δu : 弁部の速度変化=初期流速(m/s)

供給者により仕様が共通なものについて許容漏水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。



解説図4 ドレン逆流防止弁の性能試験系統図の例



解説図5 ドレン逆流防止弁の水を入れている状態での加振試験の例

2. 製作、現地据付工事

以下に製作、現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では、評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では、評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり、設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については、JIS B 0405:1991 普通公差 等により決められた管理値内であることを確認する。
水圧検査、漏えい検査を実施し、漏えい量が基準以内であることを確認する。
- (3) 受け入れ検査では、工場から出荷されたものが、ドレン逆流防止弁の要求性能に影響を与える

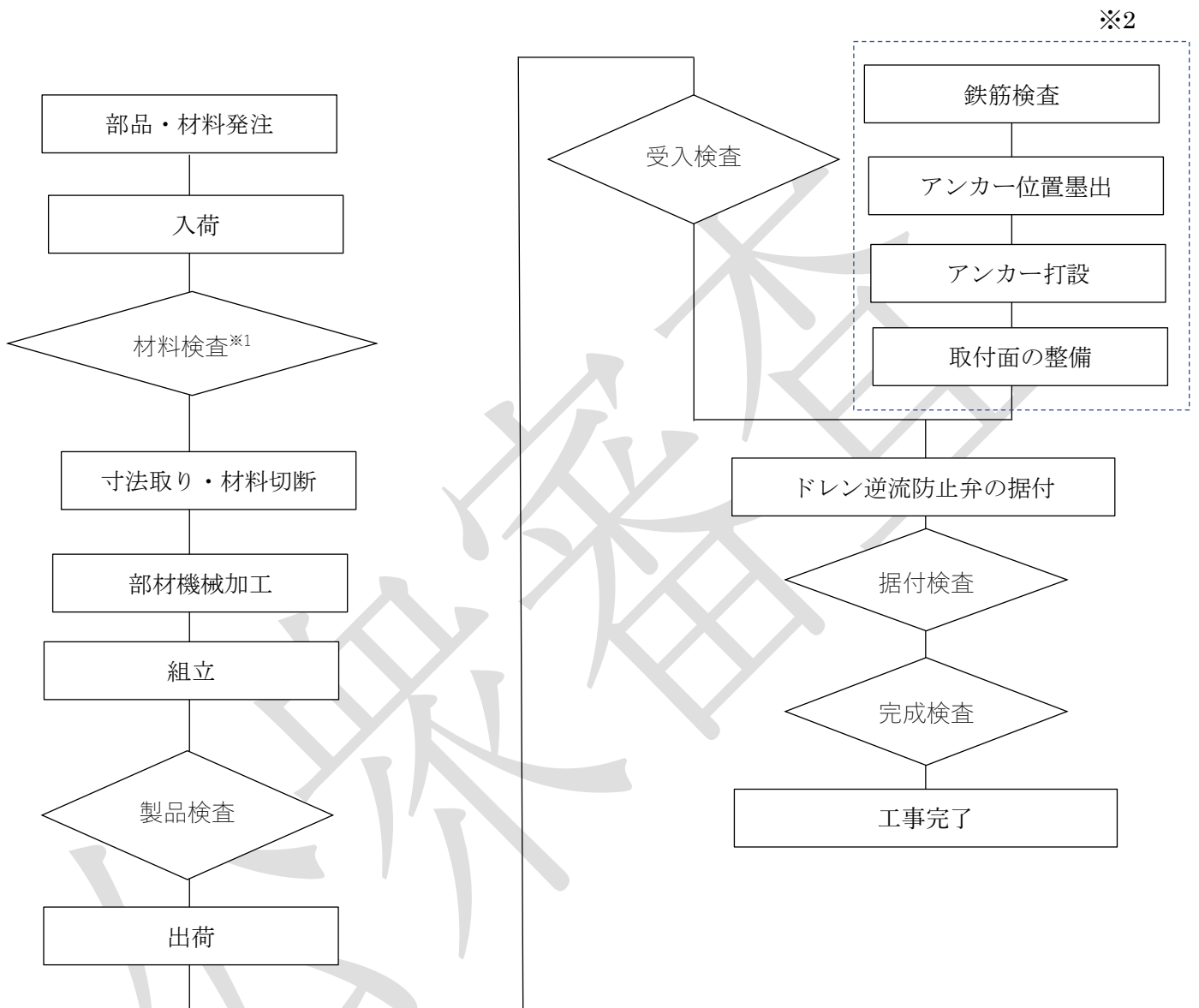
変形等がないことを目視により確認する。

(4) 据付検査では、ドレン逆流防止弁が所定の位置に据付けられていることを確認する。

(5) 完成検査では、要求性能が満足されていることを確認する。

解説図 6 にドレン逆流防止弁の製作，現地据付工事フローの例，解説表 1 に通水扉の検査方法の例を示す。





※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：既設構造物に設置する場合，必要に応じて実施する。

解説図 6 ドレン逆流防止弁の製作，現地据付工事フローの例

解説表 1 ドレン逆流防止弁の検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1 弁体	ミルシート	設計で定めた材料であること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
	弁体	非破壊検査, 目視	浸水抑制性能を担保する弁体に欠陥がないこと
		水圧検査, 漏えい検査	漏えい量が基準以内であること
受入検査	ドレン逆流防止弁	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	ドレン逆流防止弁	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査 ※2	ドレン逆流防止弁	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと

※1：評価対象部材：本体，アンカーボルト等

※2：立会い若しくは記録確認

3. 保全

ドレン逆流防止弁は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

弁座の劣化、損傷は、浸水抑制性能に直接影響を与えるため、弁座の交換時期については、設置環境等を踏まえ、予め定めた頻度で取替えを行うこと。

また、設置環境によっては、弁体及び弁座に汚れが付着し、浸水抑制性能が低下する可能性があるため、定期的に点検を行い、必要であれば清掃することが望ましい。

弁座の交換に際しては、設計図に定められた正規の弁座と同等の性能を有するものを使用し、出荷時に実施する製品検査のうち、弁座の水圧検査、漏えい検査と同等の検査を実施し、弁座の浸水抑制性能を確認することが望ましい。

解説表 2 にドレン逆流防止弁の点検の例を示す。

解説表 2 ドレン逆流防止弁の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
弁座	1回/年	劣化, 損傷	要求性能に影響を与えるような亀裂汚れが付着していないことを確認 通常時は閉弁している逆流防止弁では, 弁体と弁座が固着していないことを確認	目視
本体等	1回/年	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視
ガスケット	1回/年	劣化, 損傷	分解ごとに交換	目視
弁体	1回/年	変形, 傷, 腐食	要求性能に影響を与えるような変形, 傷, 腐食等の異常がないことを確認	目視

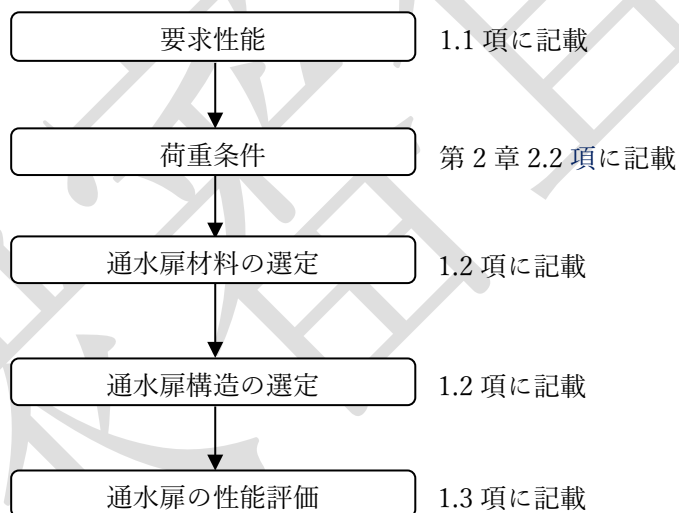
附属書H（参考） 通水扉

通水扉は溢水防護区画並びに管理と非管理の境界となる区画の溢水高さを低減するための流路確保を目的として、小扉を水圧により開放させる方式の設備である。なお、原子炉施設に設けられる通水扉には、浸水水位制御機能以外にも、防火機能等が要求されるものがあるが、本技術指針では、流路確保を目的とした通水性の機能担保について示す。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

通水扉は、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で浸水水位制御機能を維持できるように設計する。解説図1に通水扉の設計手順を示す。



解説図1 通水扉の設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、通水性能である。また、起因事象として地震を想定する場合は、耐震性能も必要である。

なお、通水扉における通水性能として、安全機能設備が機能を維持するために、安全機能設備の設置高さや浸水防護重点化範囲の広さ等から必要通水量を設定する。

1.2 材料及び構造

(材料)

構造部材は、建築基準法や以下に示す関連規格や適切と認められる規準等を考慮して適切な材料を選定することが望ましい。

(社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16, 2008⁽⁷⁾

(社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準, 2019⁽³⁾

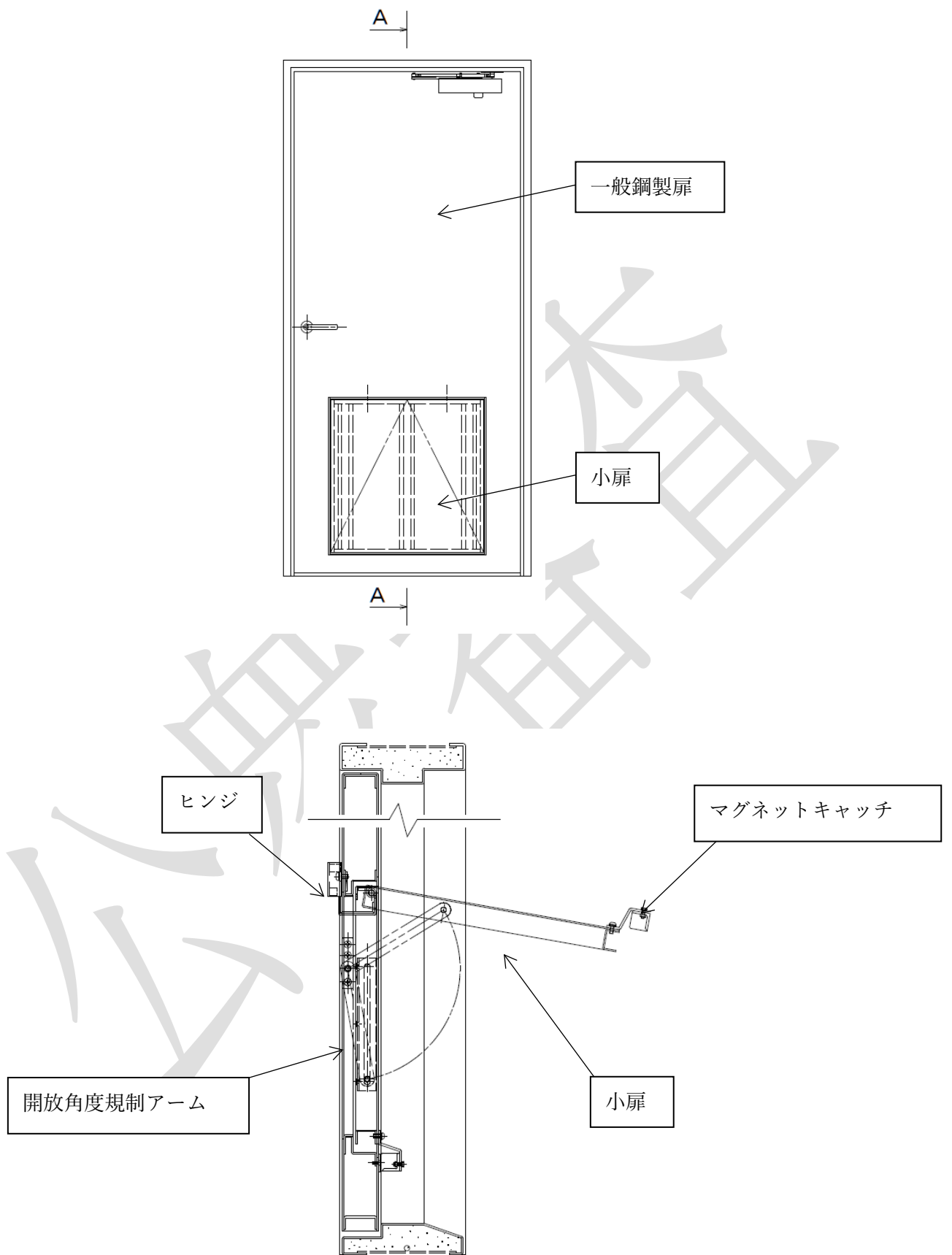
(社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001⁽⁵⁾

(構造)

通水扉の構造は，一般鋼製扉と小扉を組み合わせたものであり，小扉の通水機能等を考慮し適切に選定する。具体的な小扉の構造としては，上下フラップ式がある。

(通水扉の構造例)

通水扉の小扉（扉板，芯材）は，ヒンジ，開放角度規制アーム，マグネットキャッチ等で構成されており，ビス及び溶接で一般鋼製扉に固定されている。解説図 2 に通水扉の構造部材配置の例を示す。



解説図 2 通水扉の構造部材配置の例

1.3 性能評価

通水扉の浸水水位制御性能は、要求される扉開放開始水位及び通水量（流出流量）を満足し、また、耐震性能が必要な場合は、要求荷重に耐え、機能を維持していることを試験又は計算により検証する。

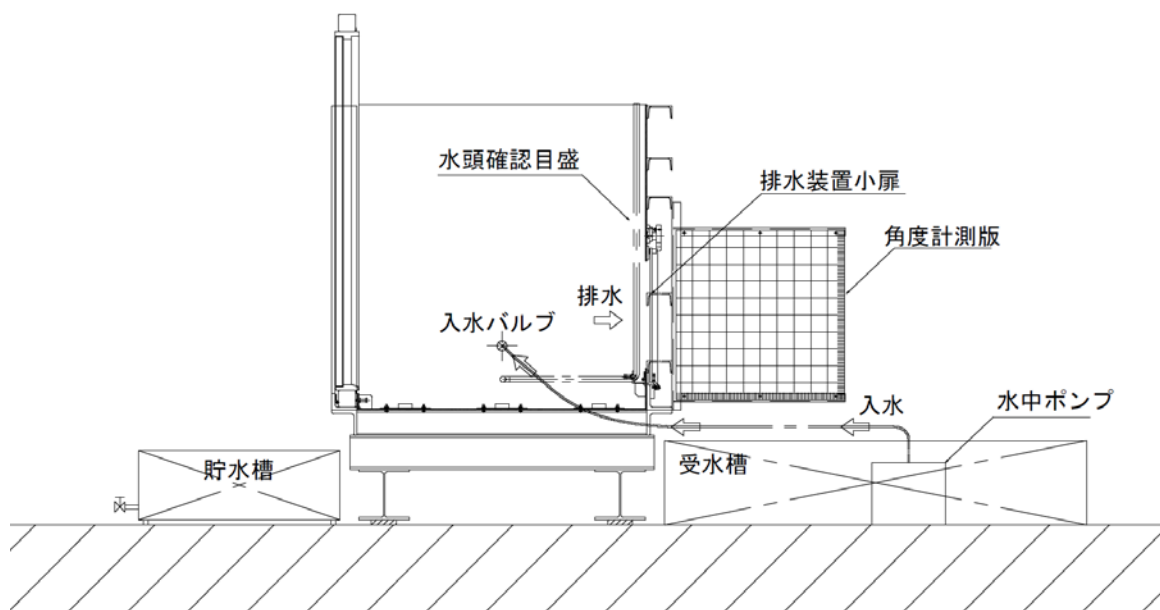
なお、計算により流出流量を求める場合に適用可能な評価式は、(社)土木学会：水理公式集（平成11年度版）⁽¹⁵⁾が参考となり、例として、広頂堰の式及び水門からの流出流量評価式がある。評価にあたって流出係数及び流量係数が不明な場合は、通水試験等から求める。

供給者により仕様が共通なものについて通水量を満足させる結果が得られている場合等においては、設計条件の包絡性を評価した上で、代表仕様での試験も有効である。

解説図3に通水扉の通水試験の例、解説図4に通水扉の通水試験装置概要図の例を示す。



解説図3 通水扉の通水試験の例



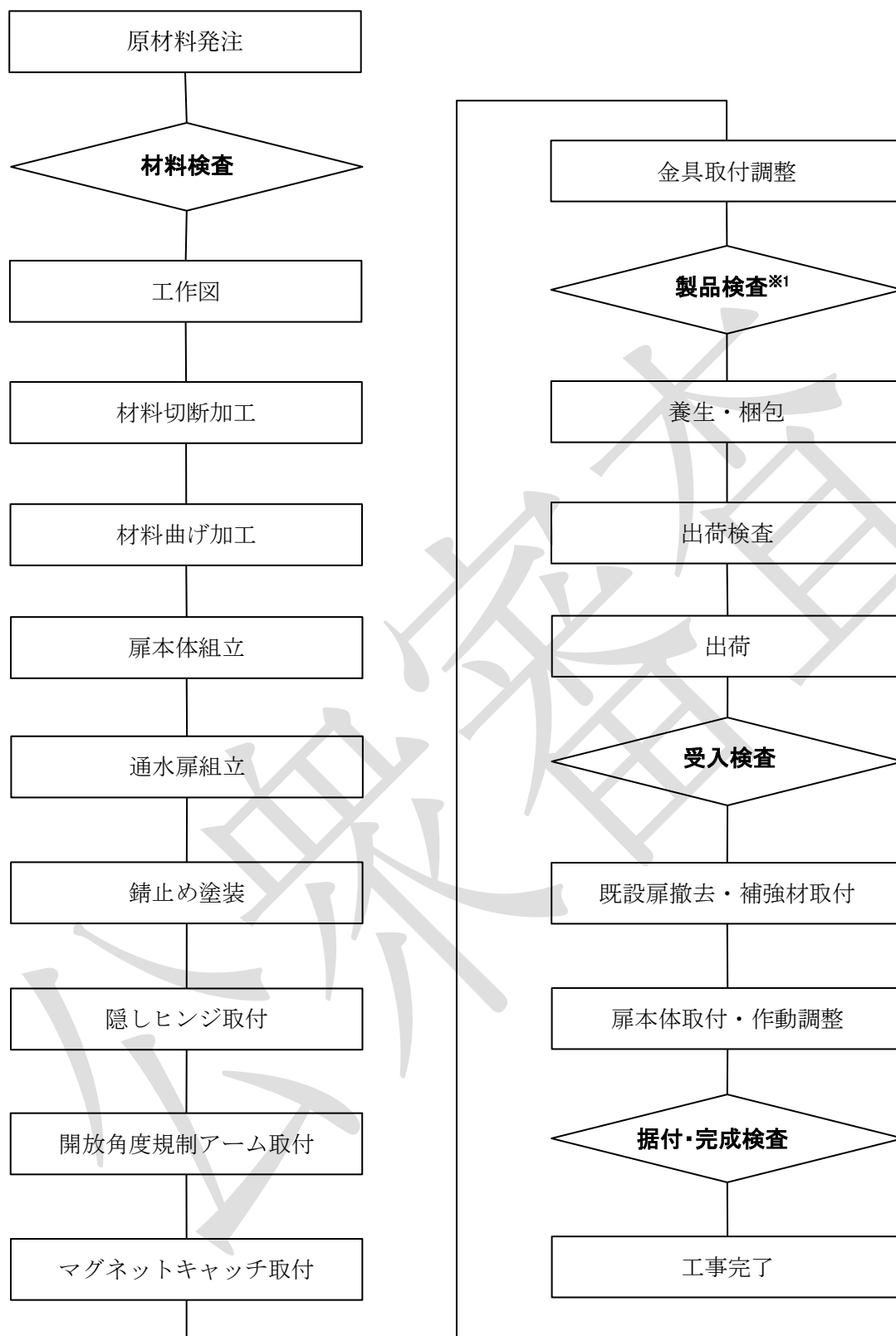
解説図4 通水扉の通水試験装置概要図の例

2. 製作，現地据付工事

通水扉の製作，現地据付工事に際しては，要求性能を満足させるため，製作及び現地据付工事期間中における検査項目や検査方法，判定基準等を明確にした上で，確実に実施されていることを確認することが望ましい。以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，評価対象部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により確認する。
- (2) 製品検査では，評価対象部材の主要寸法等が設計で定めた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については，(社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16，2008⁽⁷⁾等より決められた管理値内であることを確認する。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，通水扉の要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，通水扉が設計で定めた据付精度内で所定の位置に据付けられていることを確認する。据付精度については，(社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16，2008⁽⁷⁾等より決められた管理値内であることを確認する。
- (5) 完成検査では，通水扉の要求性能に影響を与える変形等がないこと及び動作を確認する。

解説図 5 に通水扉の製作，現地据付工事フローの例，解説表 1 に通水扉の検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

解説図 5 通水扉の製作，現地据付工事フローの例

解説表 1 通水扉の検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※2	評価対象部材 ※1	ミルシート	設計で定めた材料であること
製品検査 ※2	評価対象部材 ※1	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法や員数が規定通りであること
受入検査	通水扉	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※2	通水扉	寸法測定	設計で定めた精度内で据え付けられていること
完成検査 ※2	通水扉	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
	通水扉 (小扉)	開荷重測定	要求される扉開放水位相当となる荷重以下であること

※1 : 評価対象部材 : 扉板, 芯材, ヒンジ等

※2 : 立会い若しくは記録確認

3. 保全

通水扉には、所定の水圧で確実に小扉を開放させ、所定の通水機能を発揮することが求められる。

通水扉は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

通水扉（小扉）の作動抵抗増大は、通水性能に直接影響を与えるため、定期的に点検を行うことが望ましい。作動抵抗の増大が所定の値に達した場合は、通水扉（小扉）の分解・清掃等を行い、管理値以下になるよう整備する

解説表 2 に通水扉の点検の例を示す。

解説表 2 通水扉の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
通水扉 (小扉)	1回/年	変形	要求性能に影響を与えるような変形等の異常がないことを確認及び要求される扉開放水位相当となる荷重以下であることを確認	目視及び測定
扉板, ヒンジ等	1回/年	変形, 腐食	要求性能に影響を与える変形, 腐食等の異常がないことを確認	目視

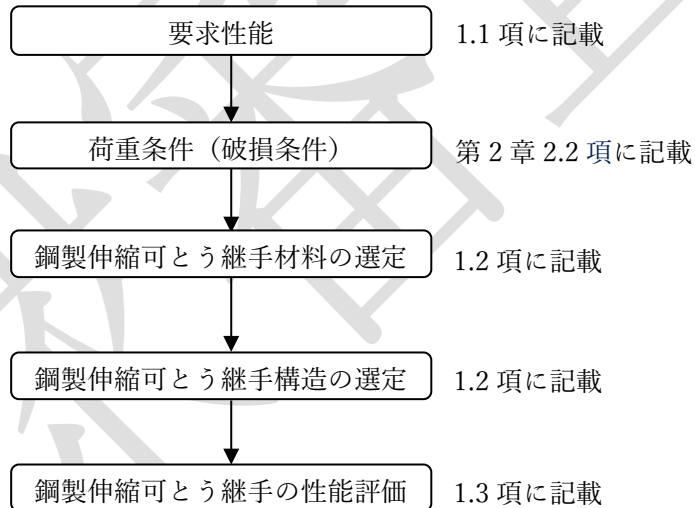
附属書 I（参考） 鋼製伸縮可とう継手

鋼製伸縮可とう継手は、地震時の循環水管伸縮継手部の破損を想定した際に、溢水量の低減を目的として、既設のゴム製伸縮継手の代替となる設備である。鋼製伸縮可とう継手の設計、製作、現地据付工事、点検を行う際の基本事項を以下に示す。なお、原子力施設に設けられる鋼製伸縮可とう継手には、溢水量の低減機能以外にも、耐震機能を要求されるものがあるが、本技術指針では、溢水量の低減を目的とした鋼製伸縮可とう継手の機能担保について示す。

要求事項（設計、製作、現地据付工事及び保全）に対する実施例を以下に示す。

1. 設計

鋼製伸縮可とう継手は、要求性能を考慮し、設計手順を定めた上で、溢水量低減機能を維持できるように設計する。解説図 1 に鋼製伸縮可とう継手の設計手順を示す。



解説図 1 鋼製伸縮可とう継手の設計手順

1.1 要求性能

具体的な要求性能は、溢水量低減機能である。

なお、循環水管伸縮継手の破損対応用鋼製伸縮可とう継手（クローザージョイント）はゴム製伸縮継手の破損幅に対し、大幅な溢水量低減（破損幅比較の場合）を図ることができる。

1.2 材料及び構造

（使用条件）

循環水管伸縮継手の想定破損については、海水ポンプエリア及びタービン建屋内での溢水量評価において、流出量の多さから他設備へ与える影響が大きいため、想定破損面積を減少させた破損対応用鋼製伸縮可とう継手を用い、溢水量の低減を図る。

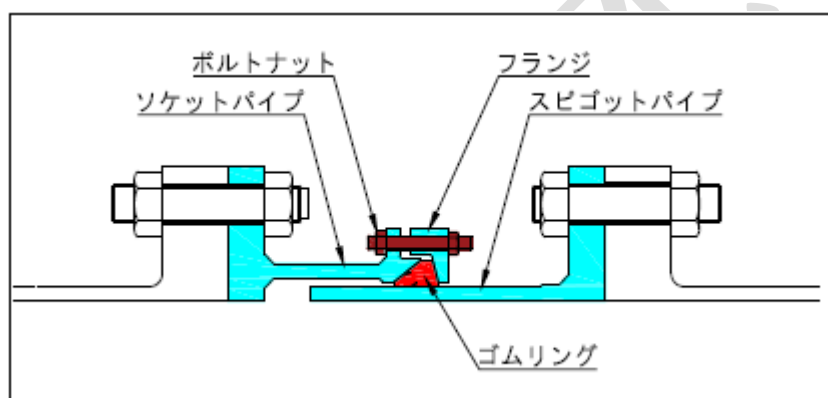
(材料)

管体の主部材は SS400, SM400A, SM400B, SM490A 等設置する母管と同等以上の材質を使用する。

(構造)

循環水管伸縮継手の破損対応用鋼製伸縮可とう継手（クローザージョイント）は二重管形式で、内管と外管の間に特殊形状のゴムリングを採用した、滑り型の伸縮可とう継手であり、溢水量に影響する内管（スピゴットパイプ）と外管（ソケットパイプ）の隙間を小さくし、破損時の溢水量の低減を図る。

解説図 2 に鋼製伸縮可とう継手構造図を示す。

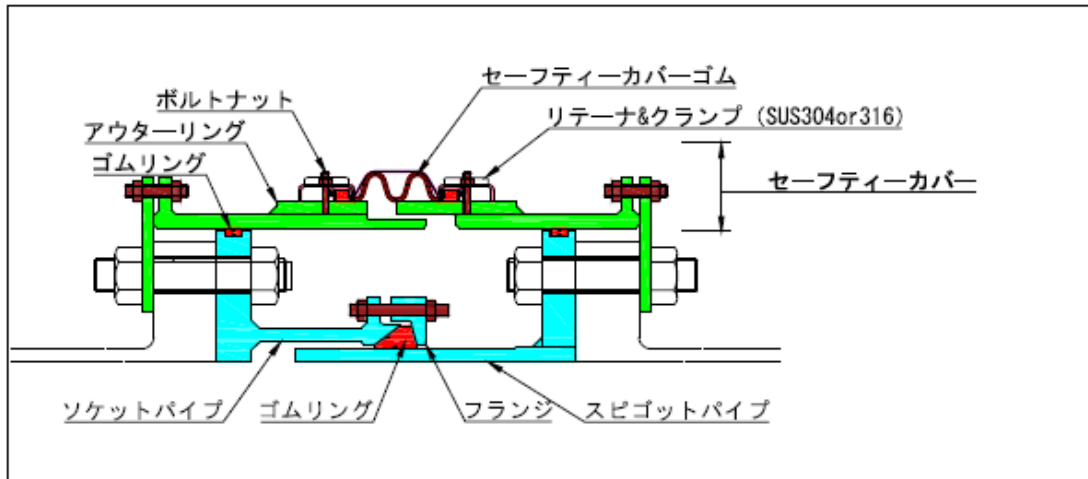


解説図 2 鋼製伸縮可とう継手構造図

ゴムリングは、特殊形状のシールリップを設けたセルシール機構とし、耐候性の高い EPDM 等の材料を採用することで、安定したシール力を長期間持続させる。

※参考 セルシール機構とは経年変化に伴いゴムリングの反発力が低下しても、圧力によりシールリップが押しつけられシール力を維持するシール機構。継手部分をセーフティーカバーで二重化し、さらに安全性を高める事も可能である。

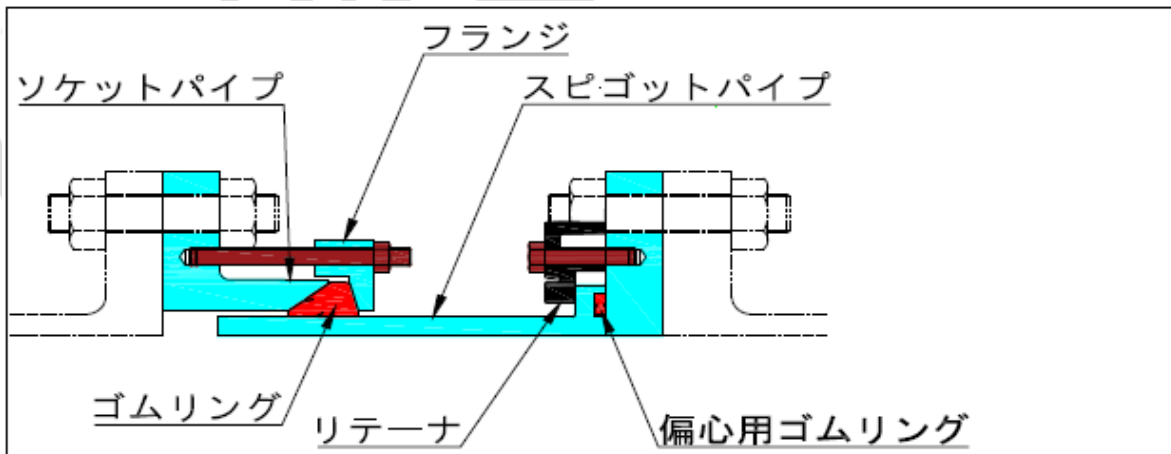
解説図3にシール構造詳細図を示す。



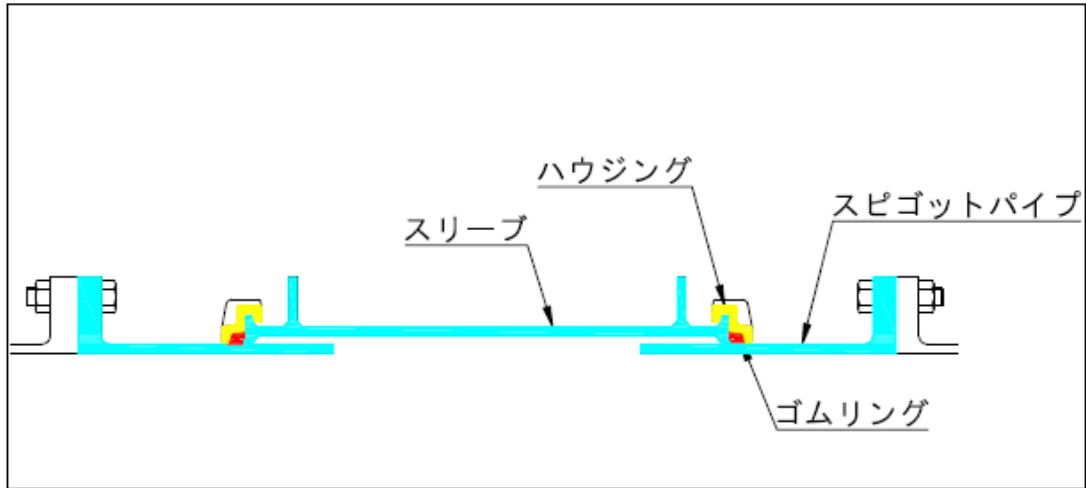
セーフティーカバーによる継手部分を二重化

解説図3 シール構造詳細図

伸縮継手部に芯ずれを伴う可とう性が必要な場合の構造例を解説図4及び5に示す。



解説図4 小さな芯ずれ要求の場合



解説図 5 大きな芯ずれ要求の場合

(関連文献)

- ・ ICONE27-2110 DEVELOPMENT OF A STEEL FLEXIBLE EXPANSION JOINT WITH REDUCED OVERSPILL VOLUME

1.3 性能評価

(性能試験)

鋼製伸縮可とう継手（仕様例）

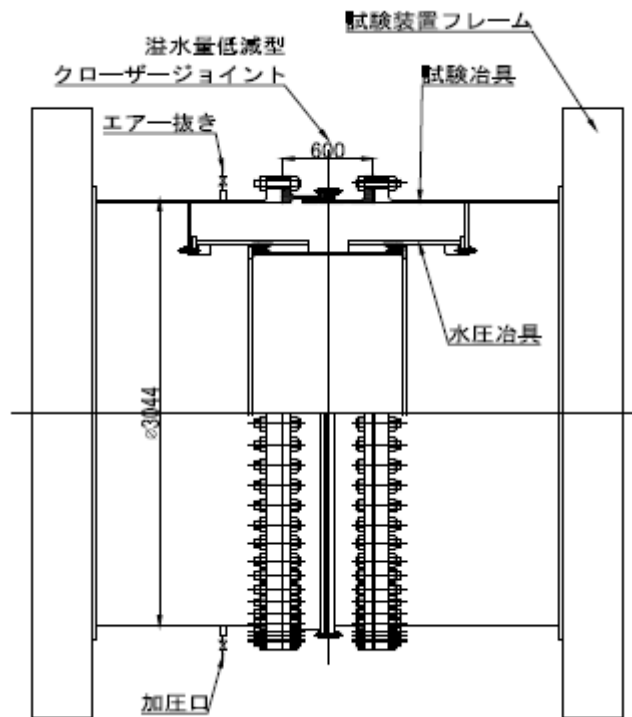
- ・継手長さ 500mm
- ・設計圧力 0.3MPa
- ・耐圧試験圧力 0.45MPa
- ・設計圧縮量 50mm（最大 75mm）
- ・設計伸張量 50mm（最大 75mm）

(1) 試験項目及び試験方法

① 耐圧試験

耐圧試験機に試験体を取り付け、規定試験圧（負圧）を与え、10 分間保持した後に漏えいなどの異常がないことをスモークなどにより確認する。

次に、規定試験圧（水圧）を与え、10 分間維持した後に漏えいなどの異常がないことを確認する。解説図 6 に鋼製伸縮可とう継手の性能試験（耐圧試験）の例を示す。



試験水圧	設計圧力	耐圧試験圧力
	0.3MPa	0.45MPa
確認方法	目視確認	

解説図 6 鋼製伸縮可とう継手の性能試験（耐圧試験）の例

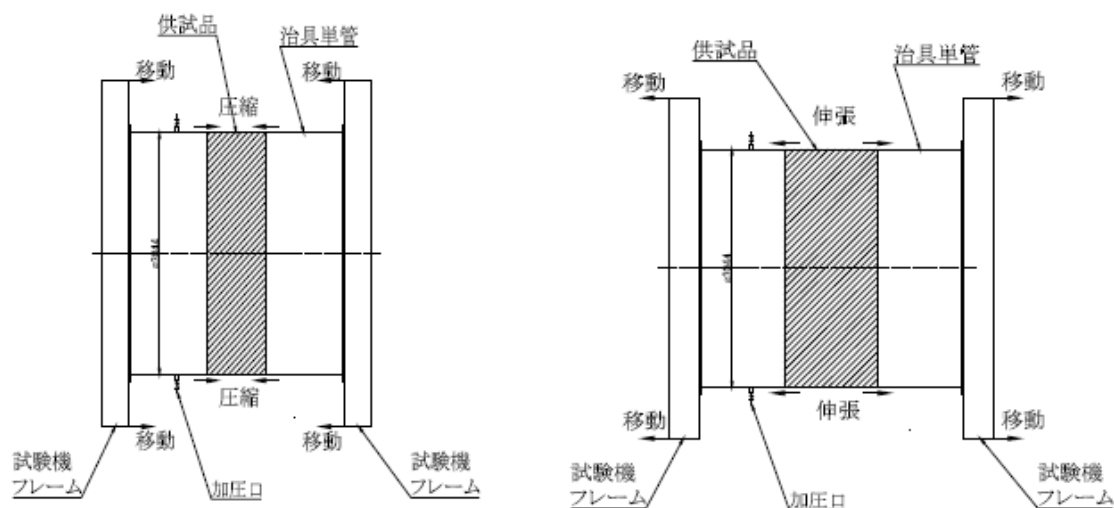
② 伸縮試験

試験機に取り付け、試験機フレームを移動させることで規定の伸縮を与え、規定試験水圧（内圧）を負荷し、10分間維持した後に漏えいなどの異常がない事を確認する。

解説図7に鋼製伸縮可とう継手の性能試験（伸縮試験）の例を示す。

規定伸縮	設計圧縮量	設計伸張量
	50mm	50mm

試験水圧	設計圧力	耐圧試験圧力
	0.3MPa	0.45MPa
確認方法	圧力計及び目視確認	



解説図7 鋼製伸縮可とう継手の性能試験（伸縮試験）の例

2. 製作，現地据付工事

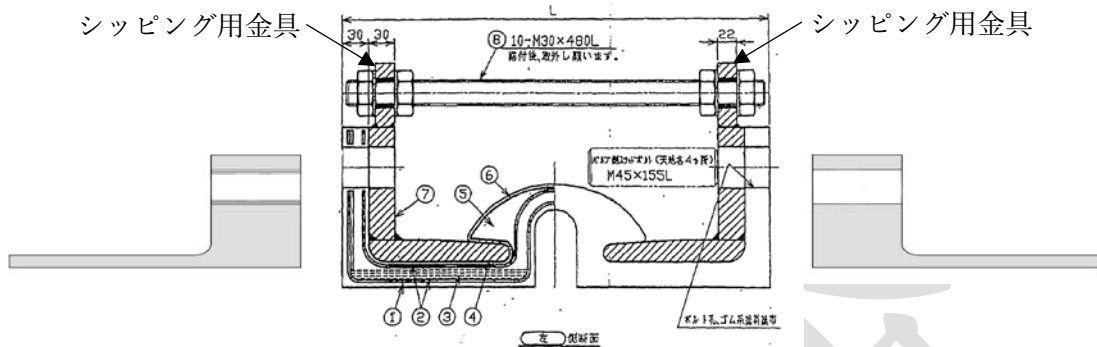
以下に製作，現地据付工事における検査項目の例を示す。

- (1) 材料検査では，構成部材に使用されている材料が設計で定めた材料と相違ないことを記録等により評価確認する。
- (2) 製品検査では，構成部材の主要寸法等が設計で定められた許容寸法内であり，設計のとおり製作され組立てられていることを確認する。寸法公差については，(一社)電力土木技術協会：水門鉄管技術基準，-付解説-，2015⁽⁶⁾等により決められた管理値内であることを確認する。
- (3) 受入検査では，工場から出荷されたものが，要求性能に影響を与える変形等がないことを目視により確認する。
- (4) 据付検査では，配管と配管のすき間部のゴム継手破損幅が，所定の基準値内であることを確認する。ゴム継手の破損幅を小さくすることで，地震時の内部流体の漏えい量を低減するため，この隙間寸法については，溢水評価に影響がある項目であることから，以下の管理を行う。

据付時の管理として，配管外径のすき間を流出流量の計算に用いた流路の破損幅(A)以下とする。このため，所定の基準値は，配管の中心をはさんだすき間(2箇所)の合計値に対して2Aとする。

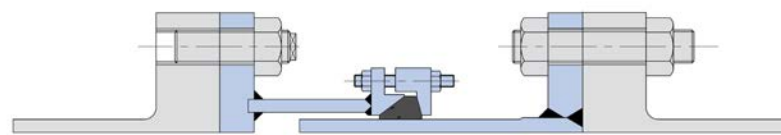
解説図8に鋼製伸縮可とう継手の据付stepの例を示す。

step1 継手外周に設けられた SHIPPING 用金具を使用し、既設のゴム製伸縮継手を締め、管路から撤去する。

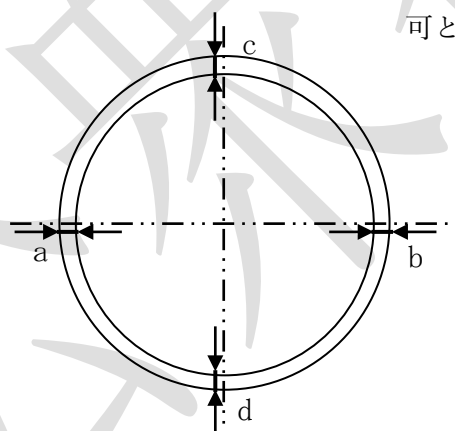


step2 継手部に予め縮めた可とう継手を配置する。

step3 フランジボルトを締結することで可とう継手を伸張し、管路に取り付ける。



管路に設置する
可とう継手



隙間の管理

- $a + b \leq 2A$ かつ
- $c + d \leq 2A$

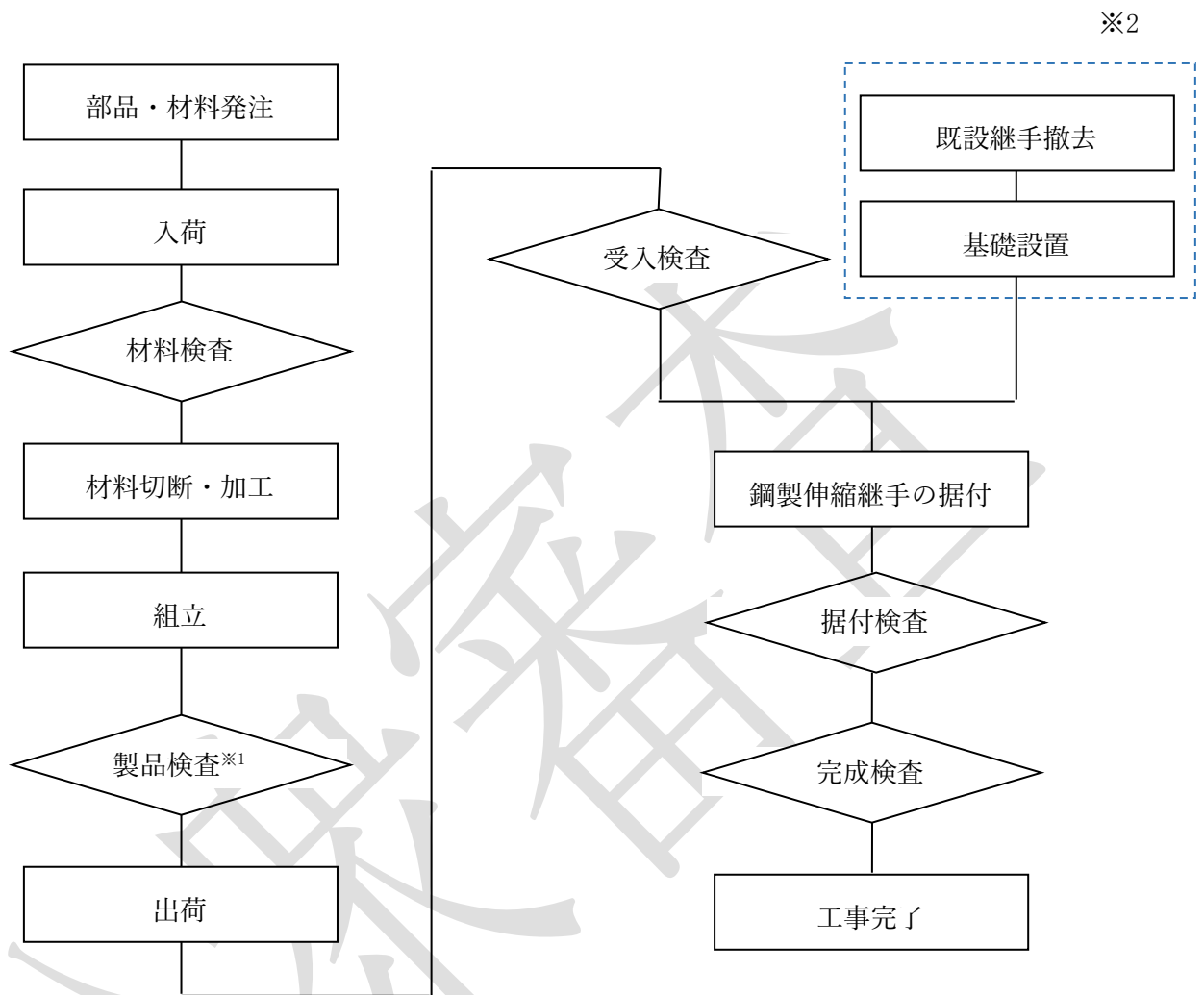
$A = \text{破損幅(設計値)}$

step4 設置完了

解説図 8 鋼製伸縮可とう継手の据付 step の例

(5) 完成検査では、鋼製伸縮可とう継手が要求性能に影響を与える変形がないことを確認する。

解説図 9 に鋼製伸縮可とう継手の製作、現地据付工事フローの例、解説表 1 に鋼製伸縮可とう継手の検査方法の例を示す。



※1：製品検査と同時期に材料検査を行うことも可能とする。

※2：既設構造物に設置する場合，必要に応じて実施する。

解説図 9 鋼製伸縮可とう継手の製作，現地据付工事フローの例

解説表 1 鋼製伸縮可とう継手の検査方法の例

検査工程	検査部位	検査方法	判定基準
材料検査 ※1	評価対象部材 ※2	ミルシート	設計で定めた材料であること
製品検査 ※1	評価対象部材 ※2	寸法測定, 目視	設計で定めた評価対象部材の寸法, 員数が規定通りであること
受入検査	鋼製伸縮可とう継手	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと
据付検査 ※1	鋼製伸縮可とう継手	寸法検査	設計で定めた基準値内で据え付けられていること
完成検査 ※1	鋼製伸縮可とう継手	目視	要求性能に影響を与える変形等がないこと

※1：立会い若しくは記録確認

※2：評価対象部材：フランジ，スピゴットパイプ，ソケットパイプ

3. 保全

鋼製伸縮可とう継手には、破損時の漏えい量の低減機能を発揮することが求められる。

鋼製伸縮可とう継手は、環境条件又は使用条件等により、その特性が経時変化する。そのため、要求性能を維持していくためには、適切な点検の実施が必要となる。

鋼製伸縮可とう継手は、その構造から設置後の管理として、ゴム部に劣化要因はないとしているが、何らかの原因で配管の中心位置のずれが発生しても設置時のずれと同様、すき間の漏えい面積に違いは発生しないため機能に影響はない。ただし、異常がないことを外観検査等で確認する管理を行う。解説表2に伸縮可とう継手の点検の例を示す。

解説表2 鋼製伸縮可とう継手の点検の例

部位	頻度	故障モード	点検内容	点検方法
鋼製伸縮可とう継手	1回/年	変形	要求性能に影響を与える変形等の異常がないことを確認。	目視及び測定
	1回/年	腐食	要求性能に影響を与える腐食等の異常がないことを確認。	目視
ゴム部	1回/10年	劣化	分解ごとに交換	目視

(点検の種類)

点検は「簡易点検」、「本格点検」を計画する。

各点検方法を以下に示す。点検項目、判定基準、処置対応を以下のように計画する。

(簡易点検)

目視点検により、伸縮可とう管の漏えい、発錆の有無を点検する。

(1) 点検項目、判定基準、処置対応

① 塗装目視点検

判定基準：

塗装の剥離、又は発錆、腐食等の不具合があるか。

処置対応：

軽微な場合は点検時にタッチアップ塗装を施す。翌年の点検時迄に機能に影響を与える可能性がある場合は、分解を含めた計画を立て対処する。

②漏えい点検

判定基準：

目視点検による漏えいの有無，漏えいした水の痕跡の有無

処置方法：

漏えい，漏えいした水の痕跡が認められた場合は分解を含めた調査点検の計画を立て対処する。

(本格点検)

本格点検は10年次に行うものとし，年次点検に加え，可とう継手部を分解し，可とう継手部の状態を点検する。合わせてボルトナット，ゴムリングなどの消耗部品を交換する。

(1) 点検項目，判定基準，処置方法

①塗装目視点検

判定基準：

塗装の剥離，又は発錆，腐食等の不具合があるか。

漏えいの痕跡はあるか。

処置方法：

軽微な場合は点検時にタッチアップ塗装を施す。10年後の次期点検時迄に機能に影響を与える可能性がある激しい腐食などがある場合は，伸縮可とう継手の交換計画を立てる。

②可とう継手部シール機構の分解点検

アダプター部及び押し輪のボルトナットを外し，シールパッキンの状態を点検する。

判定基準：

硬度確認：製作時より硬度が10度以上硬化していないか。漏えいの痕跡はあるか。

形状確認：締め代が残っているか。

処置方法：

アダプター部及び押し輪のボルトナット，シールパッキンを新規の物に交換する。

(部品の交換)

10年毎のボルトナット及びシールパッキンの交換を前提として保全を実施する。

参考文献

- (1) (一社)日本電気協会：原子力発電所耐津波設計技術規程 (JEAC4629-2014)
- (2) (一社)日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-2015)
- (3) (社)日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準，2019
- (4) (社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010
- (5) (社)ステンレス構造建築協会：ステンレス建築構造設計基準・同解説【第2版】，2001
- (6) (社)アルミニウム構造建築協会：アルミニウム建築構造設計規準・同解説【第2版】，2016
- (7) (社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説建具工事 JASS16，2008
- (8) (一社)電力土木技術協会：水門鉄管技術基準，一付解説－2015
- (9) (社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格），2001
- (10) (社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格），2005
- (11) (社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格），2005/2007 追補版
- (12) (一社)日本機械学会：発電用原子力設備規格（設計・建設規格），2012
- (13) (一社)日本電気協会：原子力安全のためのマネジメントシステム規程 (JEAC4111-2013)
- (14) (一社)日本電気協会：原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209-2016)
- (15) (社)土木学会：水理公式集（平成11年度版）

参考資料 海外主要国における浸水防止に関する技術基準，対策事例並びに海外主要国及び

国内における溢水の対策事例

参表1 海外主要国における溢水の対策事例

参表2 国内における溢水の対策事例

参考資料 海外主要国における浸水防止に関する技術基準，対策事例 並びに海外主要国及び国内における溢水の対策事例

米国，フランス，ドイツの浸水防止に関する技術基準，対策事例調査結果を以下に示す。

また，参表 1 に海外主要国における溢水の対策事例を，参表 2 に国内における溢水の対策事例を示す。

1. 海外主要国における浸水防止に関する技術基準

技術基準に関しては具体的な仕様を規定したものは少なく，ドイツの原子力技術委員会基準 KTA2501(2010.11)^{※1}が，水圧と流水距離に応じた防水層の使用材料，地震時相対変位を考慮する場合の DIN 規格に基づくエラストマ製目地材の使用，等を規定している。

※1 http://www.kta-gs.de/e/standards/2500/2501_engl_2010_11.pdf

2. 海外主要国における浸水防止に関する対策事例

米国，フランスの原子力発電所で発生した河川水，または津波による外部洪水事象とその対策，また，事象の発生はないが検査結果などに基づいて取られた雨水，地下水も含めた外部洪水対策について参表 1 にまとめた。

そのうち注目すべき以下の事例について次項以降に記す。

米国

- ・フォートカルホーン原子力発電所の洪水事象（2011 年発生）
- ・ディアブロキャニオン原子力発電所の津波対策

フランス

- ・ルブレイエ原子力発電所の洪水事象（1999 年発生）

ドイツ

特に注目すべき外部洪水事象の発生および対策事例はみあたらなかった。

3. 注目すべき外部洪水事象及び対策

3.1 米国

3.1.1 フォートカルホーン原子力発電所の洪水事象⁽¹⁾⁽²⁾

(1)洪水の状況

フォートカルホーン原子力発電所（CE-PWR）はネブラスカ州，ミズーリ川の河畔の低地に位置している。2010年から2011年にかけてミズーリ川上流の山間部に大量の雪が降り，春には大雨が降った。それにより2011年の春にミズーリ川のダムが水位が上昇し，ミズーリ川を管理している米国陸軍工兵隊はダムが崩壊を防ぐために管理放流を行った。

フォートカルホーン敷地は通常ミズーリ川の水位より約3m高いが，2011年の洪水では水位が通常水位より約4m上昇しており，敷地は約60日の間，約1m水没した。⁽¹⁾

具体的には，2011年6月6日にミズーリ川の水位上昇を受けて，事業者が異常事象の通知を行い，8月29日に水位が約305.9m（1003ft6in）まで低下し，更に低下傾向にあることから，事業者は異常事象の通知を解除した。⁽²⁾



参図 3.1.1-1 洪水時のフォートカルホーン原子力発電所（その1）⁽¹⁾



参図 3.1.1-2 洪水時のフォートカルホーン原子力発電所（その2）⁽¹⁾

(2)プラントの対応

ダムの放流時にフォートカルホーンは燃料交換のためプラント停止状態であったが、放流の3日前に通知があったため、各施設の周りに土嚢を積み上げて土手を設置した。これにより主要施設（格納容器、補助建屋、開閉所等）は水没しなかったが、倉庫を含む敷地は土手設置の対象となっておらず、6月中旬から8月中旬にかけて水没して資機材に損害が出た。ディーゼル発電機は高台に設置されていないが、洪水に対して防護されているため、非常用電源は確保されており、洪水による安全系への影響はなく、炉心の安全への影響もなかった。

なお、土手は設計基準の洪水防護ではない。⁽¹⁾

土嚢による土手の他に、袋に水を入れた形の堤防（water berm）も設置されたが、補修員がヤードを整備している際に一部破損した。⁽¹⁾この堤防は、追加の洪水防護措置としてプラントの境界（perimeter）に設置されていたが、これが破損したことにより、補助建屋及び格納容器建屋の周囲で約 307m（1006.4feet）の高さまで水位が上昇した。これらの建屋は、約 309m（1014feet）までの溢水に対して防護される設計となっている。この堤防の破損により、洪水が主変圧器の周囲をとり囲み、事業者は予防措置として外部電源を所内非常用ディーゼル発電機に切り替えた。原子炉停止時冷却系及び使用済燃料プール冷却系は影響を受けなかった。プラントの電源は同日中に所外電源に戻され、非常用ディーゼル発電機は停止された。この堤防の破損による安全機能への影響はなかった。7月11日、プラント周囲に堤防の再設置が完了し、堤防内部の水が排水された。⁽²⁾

また、オフサイトの緊急用のサイレンが壊れたがすぐに修理された。それ以外の施設の破損は無かった。⁽¹⁾

洪水の期間、作業者は近くの学校に駐在し、ガソリン駆動ポンプや発電機用の燃料としてガソリンの缶をプラントに運んだ。また、サイト内機器の持込等のため約 2m の高さの足場により一時的な通行路を設置した。

なおフォートカルホーンでは、洪水事象継続中（2011年6月7日）に安全系統の遮断器で火災が発生したが、この火災事象は洪水事象とは直接関係しない。

(3)洪水水位評価と対応⁽¹⁾

フォートカルホーンの設計基準洪水レベルは約 309m（1014feet）であり、これは最も近い上流のダムであるギャビンズポイントダムの崩壊を前提としている。設計基準洪水になった場合は補助建屋、格納容器、取水口のうち原水（raw water）建屋は浸水しないが、開閉所等は浸水して機能を失う。従って非常用ディーゼル発電機が起動する。

1990年代に NRC の勧告に基づき各事業者は外部事象に対する確率論的リスク評価

(IPEEE : Individual Plant Examination for External Event) を実施したが、その際フォートカルホーンはミズーリ川上流の 3 つのダムを崩壊を仮定した。これは、上流側のダムが崩壊すると下流側のダムも連鎖的に崩壊する可能性があるとの考え方に基づく。評価の結果、水位は約 315m (1035feet) まで上昇し、格納容器内の設備以外は機能を失うことになる。外部電源及び非常用電源も喪失する。

このような状況に対しては、防護策ではなく緩和策を検討しており、燃料交換フロアにガソリンエンジンのポンプを設置した。この位置は約 315m (1035feet) よりも高く、必要な場合にはこのポンプで直接、蒸気発生器に注水して炉心を冷却する。ただし、このような状態になるとプラントは 1 次系、2 次系とも損傷を受けており、そのままでは再度起動できない。

3.1.2 ディアブロキャニオン原子力発電所の津波対策

(1) プラントの対応

カリフォルニア州（太平洋岸）に立地するディアブロキャニオン原子力発電所（WH-PWR）では、取水口から 300m、原子炉建屋から 600m の至近距離に活断層が見つかり、建設コストが大幅に上昇したが、強固な鉄筋コンクリートで建屋を補強して運転を行っている。建屋内には水密ドアを設置している（参図 3.1.2-1）。海岸沿いの海水ポンプにはシュノーケルと呼ばれる鋼鉄製の円筒が被せられ、モータの空冷を確保しながら津波対策を取っている（参図 3.1.2-2）。⁽³⁾

補助海水ポンプのシュノーケルの高さは約 14m である。ディーゼル発電機、非常用炉心冷却系及び開閉器等は約 26m の絶壁で防護されている。高さ約 95m の位置に淡水貯水池が 2 面ある。容量は 1 面あたり約 9500m³ であり、重力によって冷却水を供給する。ディアブロキャニオンには蒸気駆動補助給水ポンプが設置されている。格納容器構築物及び使用済燃料プールは岩盤に固定されている。⁽⁴⁾

1 ユニットあたり 3 台（合計 6 台）のディーゼル発電機が設置されている。ディーゼル発電機は、どちらのユニットにも給電可能とするため、クロスタイできる設計となっている。ディーゼル燃料貯蔵タンクは地下に 2 基設置されており、最低でも 7 日分の燃料を供給できる。また、ディアブロキャニオンには所内消防隊、消防車及び消防機器がある。⁽⁴⁾

各種設備のエレベーションを参図 3.1.2-3~4 に示す。⁽⁵⁾

(2) 津波の高さの評価と対応

ディアブロキャニオンは、最大海水面レベル（平均海水面（Mean Sea Level : MSL）から約 10m、平均低水位面（mean lower-low water : MLLW）から約 11m の高さ）を超

えるように設計されている。(6)

津波と高潮との組み合わせ（MLLW から約 15m, MSL から約 14m の高さ）の発生中に補助海水ポンプが運転可能なように、取水口は高い空気取入口を備えた設計となっている。補助海水ポンプ・モータは取水口の水密性の区画に設置されている。(6)

複数の沿岸津波の組み合わせによる波高（MLLW から約 11m）は、スケールモデル試験の結果に基づいている。この高さは、テストモデルの換気シャフトの位置で観測された、最大高さ（水しぶき（wave spray）を除く）を示す。(6)

ディアブロキャニオンでは、2004 年スマトラ津波の教訓を評価するため、確率論的津波ハザード評価（PTHA）の試験適用を行った。この検討では、3m までの津波のハザードは、環太平洋地域における遠方の地震が支配的であり、これは歴史上の記録と一致することが示された。2011 年 3 月の日本の東北地方太平洋沖地震津波による、San Luis Obispo 郡における津波の高さはこれらの結果と一致している。高さ 5m までの津波のハザードは、暴風及び潮汐（tide）によるハザードよりもはるかに小さい。高さ 7~10m の津波は、海底での地滑りが支配的となるが、その発生は極めてまれである。(6)



参図 3.1.2-1 ポンプ室入口の水密ドア(3)



Intake Structure and Auxiliary Snorkels

参図 3.1.2-2 取水口及びシュノーケル⁽³⁾



シュノーケル

参図 3.1.2-3 ディアブロキャニオン発電所の各種設備のエレベーション (その1) ⁽⁵⁾



参図 3. 1. 2-4 ディアブロキャニオン発電所の各種設備のエレベーション (その 2) (5)

3.2 フランス

3.2.1 ルブレイエ原子力発電所の洪水事象

(1)事象の状況⁷⁾

1999年12月27日、ルブレイエ1～4号機において、異常な暴風雨と高潮位が重なったため、冷却水を取水するジロンド川の水位が発電所サイトの堤防を乗り越える浸水事象が発生した。サイトプラットホーム（敷地面）が冠水し、水深約30cmとなった。1, 2号機の水密構造でない所内主地下道に約2時間に亘って水が流入した（推定流入量は約90,000m³）。定格出力運転中であった1, 2, 4号機は浸水が始まる前に全て停止され、3号機は燃料交換停止中であった。この事象により、以下の通り安全系機器が機能喪失した。

- ・ 必須サービス水系ポンプステーションの浸水。1号機ではポンプモータが浸水したため、同必須サービス水系2トレインのうちAトレインのポンプが機能喪失した。
- ・ 検査用地下道、特に燃料建屋近くのポンプステーションとプラットホームを結ぶ検査用地下道が浸水した。
- ・ 配電エリアの浸水により一部の配電盤が使用不能となった。
- ・ 浸水により低圧安全注入系ポンプと格納容器スプレイポンプは全て使用不能となった。
- ・ ドアの変形、ケーブル貫通口の破損が発生した（参図3.2.1-1）。



ドアの変形



ケーブル貫通口の破損

参図 3.2.1-1 被害状況の例⁷⁾

(2)対応⁽⁷⁾⁽⁸⁾

ルブレイエ洪水事象を契機に、各サイトの浸水防護措置の方式、高さ、裕度、据付方法、安定性、重要度分類、耐震性がレビューされ、必要があれば改良が実施された。(例：参図 3.2.1-2, 3) ⁽⁸⁾特に、ルブレイエ原子力発電所での主な対策は以下の通りであった。⁽⁷⁾

①堤防の補強

- ・堤防の嵩上げ：洪水流入源であるジロンド川沿いの堤防を 6.2m (事故前 5.2m) NGF (仏国標準海面レベル) に嵩上げ。さらに堤防上に防波壁 (2.7m) を追加設置し、全体として堤防高さは 8.5m NGF とする。それ以外の方向の堤防も 5,75 m NGF に嵩上げ。

- ・堤防前面に消波ブロックを設置。(参図 3.2.1-4)

②浸水した電気ケーブルと機器は洗浄，検査の後，修理，取替えを実施。更にこれら設備に対し特別供用期間中検査を策定し，将来的に腐食や劣化の状況を確認する。

③ジロンド川水位ではなく，気象予報に基づいた新しい警報システムを採用する。それは次の3つのフェイズから成る。

- ・フランス気象庁の予測に基づく恒常的气象観測の実施。予測風速が第一閾値を超過すると予測されると気象観測を強化。

- ・第二閾値の超過が予測されると，事前警報フェイズに入り，幾つかの運転操作実施（可搬式機材の事前設置，固定式防護機材の点検，バックアップ手段の準備等）

- ・第二閾値がその後 12 時間で超過すると，警報が宣言され，プラント停止される。

④洪水対策操作手順が策定され，洪水発生時の防護機材の設置およびプラント停止の実施が規定された。

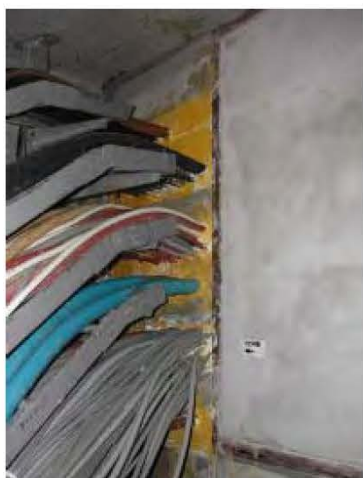
⑤洪水への抵抗力を増し，浸水を制限するために，ギャラリーと貫通部が改善された。ギャラリー領域の貫通部とドアが耐水性に改造された。

さらに，可搬式防水機材（高さ約 50cm）が，原子炉領域への浸水防止のために設置。

⑥より効果的サイト排水のためにディーゼル駆動のサイト排水ポンプを設置。



参図 3.2.1-2 対策事例：堤防／壁の嵩上げ，拡張，補強（各サイト共通）⁽⁸⁾



参図 3. 2. 1-3 対策事例：浸水経路となる開口部への耐水材充填（各サイト共通）⁽⁸⁾



参図 3. 2. 1-4 対策事例：堤防への消波ブロックの設置（ルブレイエ）⁽⁷⁾

参考文献 (3. 注目すべき外部洪水事象及び対策)

- (1) 日本機械学会 (2013) : 原子力の安全規制の最適化に関する研究会 米国原子力発電所等訪問調査報告書 (福島第一原子力発電所事故対応等), 2013年5月, 日本機械学会第12次海外調査団, 原子力の安全規制の最適化に関する研究会
- (2) Preliminary Notification of Event or Unusual Occurrence, PNO-IV-11-003 (June 6, 2011) ~ PNO-IV-003-F (August 30, 2011)
- (3) 原子力産業協会 (2012) : 事故原因と津波対策 北海道大学 奈良林直教授, 原子力産業新聞 2012年3月15日 第2614号<5面>
- (4) Diablo Canyon Power Plant, Facility Overview, March 22, 2011, Accession No. ML111290179
- (5) 奈良林 (2014) : 海外の原子力発電所における津波・洪水対策の現況, 原子力安全のための耐津波工学に関するシンポジウム (当日資料), 2014年3月20日
- (6) Diablo Canyon Fact Sheet, Accession No. ML111290158
- (7) E. Vial (IRSN) et al., "Severe storm resulting in partial plant flooding in "Le Blayais" nuclear power plant ", International Workshop on External Flooding Hazards at Nuclear Power Plant Sites, 29 Aug. -2 Sep., 2005, Kalpakkam, Tamil Nadu, India
- (8) Eric de Fraguier (EDF), "Lessons Learned from 1999 Blayais Flood: Overview of EDF Flood Risk Management Plan", USNRC RIC 2010, 11 March 2010

参表 1 海外主要国における溢水の対策事例

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
1	ディアブロキャニオン-1/2 (米, PWR 3,411MWt 1984/1985 年運転認可)	1970 年代	プラント近傍で活断層が見つかったことによる津波対策	海水	建屋, 海水ポンプ, ディーゼル発電機, 非常用炉心冷却系, 開閉器, 淡水貯水池, 格納容器構築物, 使用済燃料プール	取水口から 300m, 原子炉建屋から 600m の至近距離に活断層が見つかった。このため, 建設コストは大幅に上昇したが, 強固な鉄筋コンクリートで建屋を補強し, 建屋内に水密ドアを設置し, 海岸沿いの海水ポンプにはシュノーケルと呼ばれる鋼鉄製の円筒を被せる等の津波対策を行った。	1. 鉄筋コンクリートで建屋を補強 2. 建屋内に水密ドアを設置 3. 海水ポンプに高さ約 14m の鋼鉄製の円筒 (シュノーケル) を設置 4. ディーゼル発電機 (1/2 号機でクロスタイ可能), 非常用炉心冷却系, 開閉器, 淡水貯水池等を高所に設置 5. 蒸気駆動補助給水ポンプを設置 6. 格納容器構築物, 使用済燃料プールを岩盤に固定 7. 所内消防隊, 消防車及び消防機器の配備
2	グランドガルフ-1 (米, BWR 1207MWe 1985 年運開)	1991/11/19	コンジットを経由した補助建屋への雨水浸入	雨水	補助建屋開閉器室	雷雨の後, 電気コンジットを通じた補助建屋への雨水浸入が発生した。コンジットは屋外のマンホールから建屋につながっており, マンホールのサンプポンプは作動していなかった (豪雨によりポンプの回路遮断機がトリップした可能性が高い)。水は区画 I 開閉器室に流入し, 約 11m ³ (約 3,000 ガロン) が床ドレインから放射性廃棄物収集タンクに流入した。最大水位は約 2.5cm (約 1 インチ) であった。安全系への影響はなかった。	1. コンジットにシールを設置
3	クーパー (米国, BWR 830 MWe 1974 年運開)	1993/7/21	洪水によるタービン建屋 / 原子炉建屋地下への地下水浸入	地下水	タービン建屋地下, 原子炉建屋地下	豪雨のためミズーリ川の水位が上昇し, 手順書に従って職員が洪水バリアを設置した。その後, 燃料交換停止からの起動中, 水位が急上昇したため職員は原子炉停止を決定し, 水位が平均海面上 274.0m に達した時点で異常事象通知を宣言した (プラントは 275m であるのに対し, 最終的に 274.6m まで上昇した)。原子炉停止後, タービン建屋及び原子炉建屋の地下に多量の地下水が浸入し, 一部で浸水が床ドレイン容量に近づき, 電気設備周囲にも水が浸入した。原子炉建屋では, RCIC の電気回路の接地が発生した。	1. 原子炉建屋, 放射性廃棄物建屋, タービン建屋, ディーゼル発電機室の入口にバリアを設置 2. プラントを取り囲む地下ケーブルトンネルからポンプで排水

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
4	ルブレイエ-1~4 (仏, PWR, 951MWe 1981/1983 年運開)	1999/12/27	暴風雨と高潮による大規模浸水	河川水	安全注入系, 格納容器スプレイ系, 電気設備	冷却水を取水しているジロンド川の水位が暴風雨と高潮のため発電所周囲の堤防を乗り越え浸水が発生した。浸水によって安全注入系と格納容器スプレイ系等が使用不能となった。浸水による被害は地下の電気設備にも及んだ(総浸水量約9万m ³)。なお, フランスで実際の事象で緊急時計画が発令されたのは本事象が初めてであった。	1. サイト周囲堤防の嵩上げ, 堤防前面に消波ブロック設置 2. 気象予報ベース洪水警報システムの刷新 3. 浸水時所内手順の策定 4. 耐浸水性改善・浸水制限対策(安全系機器配置建屋の開口部の遮水材充填, 扉の水密性強化など) 5. 浸水時のサイト排水能力向上のためディーゼル駆動排水ポンプ設置
5	サリー-1/2 (米, WH-PWR, 781/781MWe 1972/1973 年運開)	2006/10/07	コンジットを経由したタービン建屋地下/非常用開閉器室への雨水浸入	雨水	1号機タービン建屋地下, 2号機非常用開閉器室	豪雨のため1号機のタービン建屋地階(TBB)及び2号機の非常用開閉器室(ESGR)が浸水した。浸入水の推定量は, 1号機 TBB のダクトバンク D が 45.4-56.8m ³ /h (200-250gpm), 1号機潤滑油貯蔵室が 0.227-0.681m ³ /h (1-3gpm), 2号機 ESGR が 1.14-2.27m ³ /h (5-10gpm)であった。サンプポンプ及び重力ドレインの容量を上回る雨水が, 開閉所のマンホールに流入し, コンジットを経てダクトバンク D へ流れ, 1号機 TBB 及び2号機 ESGR に流入したことが原因であった。TBB のコンジットはシールされていなかった。ESGR では, 防火充填材が水圧によりコンジット貫通部から押し出された。	情報なし。
6	フォートカルホーン (米, CE-PWR)	2009/9	洪水防護活動(土嚢設置)に関する手順書の不備	河川水 ^{注)}	取水建屋, 補助建屋	外部洪水事象時に取水建屋及び補助建屋を防護するための適切な手順書が維持されていなかった。手順書では, 水門(floodgate)の上に土嚢を積み上げることを規定していたが, 水門上部の面積が狭いため必要な数の土嚢を設置できなかった。手順書が不適切であった原因は, 事業者が外部洪水に関する新知見を得た際に適切な是正措置を実施しなかったことである。また, 認可基準洪水位より低い位置にある貫通部がシールされておらず, 異常洪水事象が発生した際に取水建屋が脆弱になる可能性があることが判明した。	1. 手順書の見直し 2. 土嚢を必要としない洪水防護機能の再設計及び設置 3. 貫通部のシール施工

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
7	フォートカルホーン (米, CE-PWR)	2011/6/6～ 2011/8/29	河川増水による洪水の発生	河川水	補助建屋, 格納容器建屋, 主変圧器	2011年6月6日, ミズーリ川の水位上昇を受けて, 事業者は異常事象の通知を行った。6月26日, 追加の洪水防護策として設置された堤防が損傷し, 補助建屋及び格納容器建屋の周囲で約306.7m(1006ft4in)まで水が到達した。これらの建屋は, 約309.1m(1014ft)までの洪水に対して防護される設計となっている。堤防の損傷により, 洪水が主変圧器の周囲を囲み, 事業者は予防措置として外部電源を所内EDGに切り替えたが, 同日中に所外電源に戻した。7月11日, プラント周囲に堤防の再設置が完了し, 堤防内部の水が排水された。8月29日, 水位が約305.9m(1003ft6in)まで低下し, 更に低下傾向にあることから, 事業者は異常事象の通知を解除した。	1. プラント周囲に堤防(water-filled berm)を設置 2. 補助建屋及び格納容器建屋は1014ft(約309.1m)までの洪水に対して防護される設計
8	ブランズウィック -1/2 (米, BWR)	2011/4/20	シール不良等による原子炉建屋/非常用ディーゼル発電機建屋の浸水経路形成	雨水	非常用ディーゼル発電機の燃料油タンク・チャンバー, 原子炉建屋, 非常用ディーゼル発電機建屋	NRC検査官により, 潜在的最大ハリケーン(Probable Maximum Hurricane)発生時に非常用ディーゼル発電機(EDG)の燃料油タンク・チャンバー(FOTC)への外部洪水緩和能力に影響を与えるような開口部が指摘された。その後, 原子炉建屋やEDG建屋において要求性能を満たさない貫通部やコンジット等のシール, シールや充填剤等の隙間, 取水カナルからサービス水建屋への潜在的な浸水経路等が特定された。このような状況は, 当該プラントで洪水防護プログラムが欠如していたことに起因する。また, クレジットがとられた洪水防護機器に対する予防保全プログラムが確立されていない事例が多く確認された。	1. 要求性能を満たさないシールの保修 2. 外部洪水の影響を緩和する工学プログラムの作成及び実施 3. 内部及び外部洪水に対する局所的な設計基準の策定
9	スリー・マイル・アイランド-1 (米, B&W-PWR)	2012/8/2	コンジットのシール不良による崩壊熱除去機器の浸水経路形成	河川水 ^{注)}	崩壊熱除去機器	NRC検査官により, 空気取入トンネル内のいくつかのコンジットのカップリングが性能要件を満たしていないことが確認された。空気取入トンネルは安全関連換気系に空気を供給し, その中には安全関連及び非安全関連の電気コンジットが含まれている。設計基準洪水事象に対する防護のためシール材を使用し取り付けられるはずであったカップリングに, シール材が使用されていなかった(43カ所)。洪水シールがないため, 洪水がコンジットを通じて全てのバリアをバイパスし, 崩壊熱除去機器の機能に影響を与える可能性があった。	1. ケーブルコンジットに, 性能要件を満たすシール剤を使用したシールを施工 2. 土嚢及び建設重機の追加配備

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
10	モンティセロ (米, BWR)	2012/9/12 ～ 2013/5/15	洪水防護活動(擁壁建設)に関する手順書の不備	河川水 ^{注)}	防護エリア(タービン建屋, 原子炉建屋, 管理建屋, 保守倉庫, 放射性廃棄物建屋を含むエリア)	当該プラントの手順書が, 潜在的な最大洪水に対する防護のためにクレジットがとられている12日間での洪水防護活動を支援できるように維持されていないことが, NRC 検査官により指摘された。事業者は, 手順書にある活動の実地検証を行っておらず, 洪水計画の脆弱性を特定していなかった。作業員が2名で, サイト内に必要な全ての資材があると仮定しても, サイトの脆弱箇所への擁壁(bin wall)の建設には12日間を要した。資材調達を含めると, 擁壁の建設期間は25日となった。作業員2名による堤防の建設期間は12日間未満まで削減可能ではあるが, 事業者は日数削減を支援するための活動を行っていなかった。	1. 手順書の改訂(詳細情報追加) 2. 資材の事前配備
11	セコヤー-1/2 (米, WH-PWR)	2012/12/12	電気コンジット貫通部シール不良による必須原水冷却水ポンプステーションへの浸水経路形成	河川水 ^{注)}	必須原水冷却水ポンプステーション	電気コンジット貫通部シールが不適切なため, 必須原水冷却水(ERCW)ポンプステーションへの浸水経路が形成されていることが確認された。このため, 外部洪水事象によりERCWポンプステーションが浸水し, 1号機及び2号機に影響する可能性があるとの結論に至った。不適切なシールによりサンプポンプの容量以上の速度でポンプステーションが浸水し, サイトの立地高さ以下の洪水事象においてもERCW系が設計機能を発揮できなくなる可能性があった。	1. 性能要件を満たすコンジットシールの施工 2. 設計基準文書及び洪水バリア図面の見直し(洪水バウンダリ特定, シールの詳細情報追加)
12	ポイントビーチ-1/2 (米, WH-PWR)	2013/3	洪水防護活動(コンクリート製バリア設置)に関する手順書の不備	河川水	タービン建屋, ポンプ建屋	NRC 検査官により, 波の遡上(wave run-up)に対する防護手順が確立されていないことが指摘された。洪水防護手順書は洪水からタービン建屋及びポンプ建屋を防護するために, コンクリート製バリア(jersey barrier)の設置を指示していたが, 防護が必要なエリアに対して十分な数のバリアが用意されていなかった。更に, バリアを設置すると個々のバリア間やバリアと地面の間に隙間ができるが, 手順書には隙間やバリアの開口部を埋めるための土嚢の使用について規定がなかった。また事業者はバリアを設置するために必要な時間を考慮していなかった。	1. 開口部を塞ぐための既存のバリア改修 2. 土嚢を用いるバリアの取り付けを指示するための手順書の見直し, 3. 追加の土嚢及びバリアの事前配備

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
13	R. E. ギネイ (米, WH-PWR)	2013/5/29	貫通部シール不良による蓄電池室浸水経路の形成	河川水 ^{注)}	蓄電池室	複数ある蓄電池室の1つにつながる貫通部がシールされていないことが判明した。事業者はマンホールにあるドレインにより、シールされていない貫通部まで水位が到達することはないと判断していたが、試験の結果、当該ドレインは蓄電池室Bへの浸水防止に必要な排水能力がなかった。また、蓄電池室Aも、蓄電池室Bとの間の防火戸が水密性でないため浸水する可能性があった。外部電源が喪失し、サイトへの全AC電源が喪失すると復旧不能なSBOに至る可能性もあった。事業者は、マンホールを通じた浸水の可能性を評価せず、ケーブル貫通部をシールしていなかった。	1. マンホールと蓄電池室との間の双方の貫通部への静水圧型シールの施工
14	ワッツ・パー-1 (米, WH-PWR)	2013	洪水防護活動に関する手順書の不備（時間想定、機器他）	河川水 ^{注)}	発電所サイト	設計基準洪水事象の発生子報通知からサイトが浸水するまでの想定時間内で外部洪水緩和手順を実施する能力が証明できないことが確認された。時間内における洪水緩和手順の阻害要因の例として以下が挙げられた： ・手順書の作業が順を追って実施するようになっていたため、必要な時間が増加 ・配管の干渉、及び系統間スプールピースの支持位置の不足 ・使用機器に間違ったラベルが貼られていた、または機器が紛失していた ・複雑な作業や作業間で調整を必要とする作業の時間の過小評価	1. 洪水手順書の見直し（詳細情報の追加） 2. 手順書に関する訓練の増加 3. 機器の配備、及び機器が指定位置にあることを確認するための定期的な予防保全活動の策定
15	セントルーシー-1 (米, CE-PWR)	2014/1/9	コンジットを経由した原子炉補助建屋への雨水浸入	雨水	原子炉補助建屋	当該プラントで豪雨が発生し、設計基準洪水に満たない事象であったが雨水ドレインの能力低下により異常事象が宣言された。雨水ドレイン系統が閉塞し、1号機の原子炉補助建屋（RAB）外側の非常用炉心冷却系（ECCS）配管トンネル内で水が逆流した。内部溢水バリアが欠如しているため要求性能を満たさない2つのコンジットを経由して水がRABに浸入した。その後、必要な内部溢水バリアが欠如したコンジットが1号機で4つ発見された。また、当該プラントの工学評価ではサイトの浸水時間を考慮しておらず、このため、要求性能を満たさない洪水バリアを通じた外部洪水の浸水量を過小評価していた。	1. 事象発生時、運転員は別の床ドレイン弁の操作により原子炉補助建屋（RAB）への浸入に対応 2. 事象発生後、コンジットに性能要求を満たす内部防水シールを施工

注)原典では水源について明記していないが、河岸立地であるため水源を河川とした。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
16	Vogtle -1 (米, PWR, 3626MWe)	1988/6/3	不適切な貫通部止水	消火用水	制御パネル	防火システムの偶発的な加圧によって、床のケーブル貫通部の周囲の水が蓄積され床から制御室に浸透した。水は様々なプロセスパネルのキャビネットに入り、リリースバルブが開いた。	NRC が注意喚起を発出。
17	Perry (米, BWR, 3758MWe)	1991/12/22	補助循環水ラインからの漏水	補助循環水	緊急サービス水 (ESW) ポンプハウス, モータコントロールセンター (MCC)	36 インチファイバーグラス補助循環水ラインが損傷し、推定 290 万ガロン (約 1102 万ℓ) の水が排水された。数%の水は、補助ビル, ヒーターベイ, 給水ポンプハウス, 緊急サービス水 (ESW) ポンプハウスに入った。2 つの電気マンホールは止水されていなかったため、これらのマンホール内の導管を介して ESW ポンプハウスに入った漏水は、モータ制御センター (MCC) の区画のケーブルから、スペースヒータートランスの短絡を引き起こした。この MCC には、安全関連機器も含まれていた。	NRC が注意喚起を発出。
18	Columbia (米, BWR-5)	2002/5/3	コンクリートアンカー設置による床の亀裂からの漏水	消火水システムの試験用水	遠隔制御パネル及び安全関連スイッチギア	放射性廃棄物建屋ケーブル室で消火水システムの試験を行った際、撒布した水のうちの少量が、ケーブル室のコンクリート床に生じていたクラックから漏れて、下の階の遠隔制御パネル室及び安全関連スイッチギア室に滴下した。ケーブル室の床にクラックが発生した原因は、コンクリート貫通部シールから近すぎるところにコンクリートアンカーを設置したためと判断された。	事業者は、是正措置としてエポキシコーティング材を用いてクラックを塞ぐ補修を実施した。 (NRC は BTP* 9.5.1 により、コンクリート床の保守に関して NFPA 92M を参照し、定期的なクラック検査を行うことが望ましいとしている。)

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
19	Susquehanna-1 (米, BWR-4(Mark 2), 3952 MWe)	2004/8/18	水密でない機器ハッチの床プラグ及び/もしくは床ドレンの閉塞	逆洗水受入タンク 脱塩水	ECCS	原子炉浄化系脱塩器の延長逆洗工程において、約 1500 ガロン (約 570ℓ) の脱塩水が逆洗水受入タンクから溢れ、原子炉建屋の機器床ドレン系に流出した。ドレンヘッドは受入タンクからの樹脂とドレン管から剥離した錆により閉塞した。下層階で閉塞してドレンから溢れた水は、床を通じて Division II 炉心スプレイ系及び高圧冷却水注入系のコンパートメントに達した。これらコンパートメントに侵入した水は、機器ハッチ床プラグと床の間の、水密でない部分を通じて流入した。非常用炉心冷却系 (ECCS) コンパートメントの機器床ドレンは設計通り隔離され、水は床に溜まった。Division II 炉心スプレイ系及び高圧冷却水注入系のコンパートメントの床には約 2 インチ (約 5 cm) の水が溜まった。	事業者は、約 2 時間、Division II 炉心スプレイポンプの自動起動機能を無効にし、運転不能を宣言した後、系統踏査を実施し、系統は運転可能状態を保っていると判断した。 FSAR のフラッディング解析では、ECCS コンパートメントは水密であると述べていた。しかし、機器ハッチ床プラグはシールされておらず、従って水密障壁を構成していなかった。事業者は ECCS コンパートメント上の機器ハッチ床プラグのシールを設置した。
20	Seabrook (米, PWR, 3648MWe)	2006/2/5	洪水システムの誤操作及びシール材劣化の可能性	不明	安全関連スイッチギア	ケーブルの拡散する室 (CSR) 内の洪水システムの定期的な監視試験の際に、誤って 5 つの洪水サブシステムのうちの一つを作動させた。およそ 1,000 ガロン (380ℓ) の水が CSR に排出されました。直後に、CSR の真下に位置する安全関連で必須のスイッチギアルームの床に、いくつかの小さな水たまりが発見された。 事業者は、大部分の水が CSR フロアの劣化した気泡ゴムシールを通過して侵入し、一部の水が床工事における継ぎ目を通過した可能性があるとして判断した。	NRC が注意喚起を発出。
21	フォートカルホーン (米, CE-PWR)	2009/9	洪水防護活動 (土嚢設置) に関する手順書の不備	河川水 ^{注)}	取水建屋, 補助建屋	外部洪水事象時に取水建屋及び補助建屋を防護するための適切な手順書が維持されていなかった。手順書では、水門 (floodgate) の上に土嚢を積み上げることを規定していたが、水門上部の面積が狭いため必要な数の土嚢を設置できなかった。手順書が不適切であった原因は、事業者が外部洪水に関する新知見を得た際に適切な是正措置を実施しなかったことである。また、認可基準洪水位より低い位置にある貫通部がシールされておらず、異常洪水事象が発生した際に取水建屋が脆弱になる可能性があることが判明した。	1. 手順書の見直し 2. 土嚢を必要としない洪水防護機能の再設計及び設置 3. 貫通部のシール施工

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
22	Indian Point Unit 3 (米, PWR, 3216 MWe)	2011/2/22	共用水 (SW) 配管のホールによるピットへの浸水	共用水	バルブピットへのアクセス	冷却水等に利用している SW のラインにおいて 1992 年の検査で亀裂の判明したバルブヘッドの配管を不適切な内部エポキシコーティング補修のまま運転を継続していたところ、約 3/4 インチ (約 2 cm) の穴が開き推定で約 150gpm (約 57ℓ/分) の SW がバルブピットに漏水した。この事象による放射線の環境等への影響はないが、バルブピットへは設計基準事故時にアクセス可能であることが求められている。	是正措置は、配管へのクランプの取り付けと UT 測定を暫定に実施し、2011 年春の燃料交換時にパイプの交換を実施した。また、SW 配管溶接部と SW ラインの重点的な点検周期の見直しを実施し、SW リーク修復の実施方法に関する技術指針を作成。
23	Arkansas Nuclear One-1~2 (米, PWR, 951MWe)	2013/3/31	定検中、主発電機ステータのタービンデッキへの落下による内部溢水	火災ポンプ内の消火用水	電気設備	1 号機定検中に不適切に設計され試験されていない吊り上げリグが壊れ、動かしていた 525 トンの主発電機ステータがタービンデッキに落下した。ステータは 1, 2 号機の電線管に損傷を与え、100%出力中であった 2 号機の火災ポンプの駆動装置の誤動作により内部溢水を発生させた。	NRC は保守時の重量物移動に注意喚起。
24	Fessenheim-1 (900MWe 級標準 PWR)	2014/4/9	非原子力設備 (補器冷タンク) の内部溢水による、非常用電源系の損傷、プラント停止	補器冷タンク水	電気設備	冷却回路を水で満たしていた際に、配水管の詰まりにより配管から水があふれて、非原子力建屋の一つの部屋が浸水した。水は地面に広がり、下層の複数のフロアに流れて、原子炉保護系 (RPS) の電気パネルの損傷に至った。浸水はフランス電力 (EDF) の職員により速やかに止められた。(INES レベル 1)	EDF は、内部溢水の潜在的な原因と損傷する可能性のある設備を特定するために、2014 年中にフランスのすべての NPP サイトで「内部洪水調査」を実施し、排水システムと溢水保護システムの状態を確認した。これらの調査により、特定の設備の適合性 (開口部の止水、配管の改修など) を回復するための様々な現場でのアクションプラン及び追加検査の実施につなげた。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
25	フォートカルホーン (米, CE-PWR, 1973 運開)	2016/8/12	地震時に取水構造物のク レーンからの落下物によ り内部溢水のおそれ	原水ポン プ水	原水ポンプ	地震解析によりに取水構造物へのクレーンからの落下物によ り, 取水構造物にある配管が損傷する可能性があり, 内部溢水 により 4 台の原水ポンプが運転不能のおそれがある。フォート カルホーンの原水ポンプは残留熱除去に必須である。	不明(2016/10/26 廃炉決定) NRC は保守時の重量物移動に注意喚起。
26	Belleville(1300MWe 級標準 PWR)	2017/6/23	消火用水配管の劣化及び 耐震性低下による内部溢水 のおそれ	消火用水	補機冷却水系ポンプ, 等	予防保全の不備による消火用水配管の劣化及び耐震性低下が 発覚した。当該配管の一部では健全性維持のために必要な最低 肉厚値を下回っており, 破断すると補機冷却水系ポンプのある 区域で内部溢水を生じ補機冷却水系機能や余熱除去系機能を損 なう可能性があった。	広範な調査を実施し, EDF の運転中プラントの計 29 基で, 消火用水配管や冷却用河水 (または海水) 配管の 耐震性に問題があり地震時に破断して内部溢水から補 機冷却水系機能の喪失 (20 基は冗長系の完全喪失, 9 基 は冗長系の部分喪失) に至るリスクが懸念されることが 判明している。(事象再報告日 2017/10 /10 日)
27	トリカスタン (仏 900MWe 級標準 PWR, 4 基)	2017/9/27	想定地震に対して近傍に ある運河決壊による原子 炉施設冠水のおそれ	河川水	所外と所内の電源供給の喪失	原子力安全評価上の最も厳しい想定地震時に, ドンゼール= モンドラゴン運河の堤防の一部の決壊リスクに関する重大安全 事象をフランス原子力安全機関 (ASN) に報告した。決壊による 冠水により, 4 基の原子炉にて燃料熔融事故につながる可能性 があり, かつ, オンサイト/オフサイト緊急対応を実施するの が極めて困難になり得る。	検討中。 (EDF は, 堤防が原子力安全評価上の最も厳しい地震に 耐えられるように, 当該堤防部分の土質成分を詳細に特 定するためのさらなる土質調査を実施することと, 原子 炉を再起動する前に必要な強化工事を行うことを求め られている。)

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
28	ブランズウィック原子力発電所 (90万kW級BWR×2基)	2018/9/13	米原子力発電所、ハリケーン上陸後に要員輸送が復活	ハリケーン(フローレンス)	発電所周辺	<p>フローレンスの襲来にともない、同発電所では洪水によりスタッフが個人の車両でサイトに接近することが難しくなり、NRCが区分する4つの緊急事態宣言のうち、最も軽度な「異常事態」宣言が発令された。</p> <p>上陸後のフローレンスは勢力が徐々に衰えて熱帯低気圧となり、洪水も終息。「異常事態」宣言の解除を受けて、発電所への要員や追加物資の輸送を再開した。</p>	事業者であるデューク・エナジー社は9月13日、予想されていたハリケーンの上陸に先立ち、同発電所の原子炉2基を条件に従って安全かつ系統的に停止する手順を開始。

参考文献(米国: No. 1~3, 5~23, 25, 28 フランス: No. 4, 24, 26, 27)

- No. 1: 原子力産業協会(2012): 事故原因と津波対策 北海道大学 奈良林直教授, 原子力産業新聞 2012年3月15日 第2614号<5面>
Diablo Canyon Power Plant, Facility Overview, March 22, 2011, Accession No. ML111290179
- No. 2, 17: NRC Information Notice No. 92-69, "Water Leakage From Yard Area Through Conduits Into Buildings", September 22, 1992
- No. 3: NRC Information Notice No. 94-27, "Facility Operating Concerns Resulting From Local Area Flooding", March 31, 1994
- No. 4: E. Vial (IRSN) et al., "Severe storm resulting in partial plant flooding in "Le Blayais" nuclear power plant", International Workshop on External Flooding Hazards at Nuclear Power Plant Sites, 29 Aug. -2 Sep., 2005, Kalpakkam, Tamil Nadu, India
- No. 5: NRC Information Notice No. 2007-01, "Recent Operating Experience Concerning Hydrostatic Barriers", January 31, 2007
- No. 6, 8~15: NRC Information Notice 2015-01, "Degraded Ability to Mitigate Flooding Events", January 9, 2015
- No. 7: Preliminary Notification of Event or Unusual Occurrence, PNO-IV-11-003 (June 6, 2011) ~ PNO-IV-003-F (August 30, 2011)
日本機械学会第12次海外調査団, 原子力の安全規制の最適化に関する研究会 米国原子力発電所等訪問調査報告書, 2013年5月
- No. 16, 20, 21: NRC Information Notice No. 2007-01, "RECENT OPERATING EXPERIENCE CONCERNING HYDROSTATIC BARRIERS", January 31, 2007
- No. 18: NRC Information Notice No. 2003-08: POTENTIAL FLOODING THROUGH UNSEALED CONCRETE FLOOR CRACKS, June 25, 2003
- No. 19: NRC Information Notice No. 2005-11: INTERNAL FLOODING/SPRAY-DOWN OF SAFETY-RELATED EQUIPMENT DUE TO UNSEALED EQUIPMENT HATCH FLOOR PLUGS AND/OR BLOCKED FLOOR DRAINS, May 6, 2005
- No. 22: Entergy: Licensee Event Report # 2011-003-00, "Technical Specification Required Shutdown and a Safety System Functional Failure for a Leaking Service Water Pipe Causing Flooding in the SW Valve Pit Preventing Access for Accident Mitigation" Indian Point Unit No. 3, Docket No. 50-286, DPR-64
- No. 23, 25: NRC Information Notice No. 2016-11, "Potential for Material Handling Events to Cause Internal Flooding", August 12, 2016
- No. 24: ASN Information Notice "Incident of 9 April 2014 on reactor 1 of the Fessenheim NPP"
<http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/Incident-of-9-April-2014-on-reactor-1-of-the-Fessenheim->
- No. 26: "L'ASN classe au niveau 2 de l'échelle INES un événement conduisant à un risque de perte de la source froide de 29 réacteurs nucléaires exploités par EDF", 16 October 2017
"Incident de niveau 2 relatif aux groupes électrogènes de secours à moteur diesel : les centrales nucléaires du Bugey et de Fessenheim concernées", 30 October 2017
- No. 27: ASN, 2017年8月28日付, 9月27日付, 9月28日付 web ページ
<https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controler/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Non-tenu-au-seisme-majore-de-securite-d-une-portion-des-ouvrages-de-protection-EDF-et-ARE-VA>
<https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controler/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Mise-a-l-arret-provisoire-de-la-centrale-nucleaire-du-Tricastin>
- No. 28: (一社) 日本原子力産業協会ニュース (<https://www.jaif.or.jp/180920-a>)

参表2 国内における溢水の対策事例

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
1	福島第一2号	1984/10/17	復水貯蔵タンク遮蔽壁内バルブの不具合について	高圧注水系ポンプ水	復水貯蔵タンク周辺	<p>復水貯蔵タンク外側の遮蔽壁内の高圧注水系戻り弁(V-18-46)付近から水漏れが発生し、同タンクの遮蔽壁下部に雨水口があいていたことから、管理区域外への漏えいが考えられたためサーベイを実施した。</p> <p>高圧注水系テストライン戻り弁のボンネットフランジ部のパッキンがずれた原因は、経年劣化したパッキンに高圧注水系ポンプ起動時の水圧が加わったことによるものと考えられる。</p> <p>また、水漏れによる漏水カバーの一部が変形し、外れたため水が流出し、この水が遮蔽壁の雨水口を経て管理区域外へ漏出したものと推定される。</p>	<p>(1)弁不具合に伴う対策</p> <p>a.対象弁のパッキン取替を実施し、漏水防止カバーを鋼板製のものに変更した。</p> <p>b.復水貯蔵タンク遮蔽壁内に漏えい検出器を設置した。</p> <p>c.復水貯蔵タンク遮蔽壁の雨水口にモルタル、シーリング剤を充填した。</p> <p>(2)恒久的漏えい防止対策</p> <p>復水貯蔵タンク遮蔽壁内の漏えい水を管理区域内に抑える処置を実施し、遮蔽壁内に床漏えい検出器を設置した。</p>
2	浜岡3号	2003/8/15	タービン建屋地下1階雨水について	雨水	建屋内通路	<p>3号機タービン建屋地下1階の通路(放射線管理区域内)において、水たまり(約23m×5m×5mm:約600リットル)を発見。この水は、タービン建屋の外側にある屋外地下ダクト(配管を通すための空間)内に雨水が溜まり、配管貫通部より建屋内に入り込んだもの。建屋内に入り込んだ水は収集し処理。また、ダクト内の溜まり水については、排水を実施。</p>	<p>ダクト内に滞留した雨水は、発電所の消防車及びエンジン付排水ポンプにより排水を行い、その後既設排水ポンプの新品取替を行った。</p>
3	浜岡3号	2004/10/9	サービス建屋地下1階における火災報知器の作動(誤報)	雨水	火災報知器	<p>サービス建屋地下1階(放射線管理区域内)において、火災報知器が作動した。直ちに現場の確認を行い、火災ではないことを確認した。火災報知器が作動した原因は、台風22号通過に伴い、サービス建屋出入り口(1階)より侵入した雨水が、地下1階の天井に取り付けられている当該感知器に入ったため、作動したものと考えられる。</p>	<p>当該感知器を取り替えることとした。</p>

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
4	柏崎刈羽 1 号	2007/7/26	【中越沖地震】 T/B B2F T/BHCW サンプ (B) ・ LPCP (A) ～ (C) 室 雨水流入	雨水	低圧復水ポンプ室付近	トレンチで発生した漏水が当該トレンチ近傍のファンネルへ大量に流入し、目詰まりを起こしたことにより、このファンネルより設置高の低い高電導度廃液サンプ（タービン建屋 B2F の低圧復水ポンプ室付近に設置）から溢水が発生。	T トレンチのファンネル清掃、T トレンチの止水処理を実施し、現状復旧した。
5	柏崎刈羽 3 号	2007/7/26	【中越沖地震】 T/BT/BB1F (管) 南側壁上 部 5m (ヤード HTr 奥ノンセグ室) より雨水 流入	雨水	通路	タービン建屋に隣接したピットに水がたまり電線管貫通部を 通ってタービン建屋壁面部より漏水が発生。	電線管貫通部の止水と地上化を実施。
6	柏崎刈羽	2007/7/26	【中越沖地震】 Ax/B B1F 北西側壁面亀裂部より雨 水漏えい	雨水	補助建屋地下階	中越沖地震の影響により、連絡通路が建屋と衝突したこと によりコンクリートが損傷し、建屋の壁面に亀裂が生じ、雨水 が流入。	建屋外にディープウェル及び建屋内に堰を設置し、 壁面はコンクリート補修を実施した。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
7	柏崎刈羽 1 号	2008/10/27	海水熱交換器建屋(非管理区域)における水漏れ(雨水)について	雨水	熱交換器室	海水熱交換器建屋外壁に接しているケーブルトレンチ内に溜まった雨水が、建屋壁面の電線貫通部から建屋内に流入し、ケーブルトレイを通じて地下 2 階熱交換器室に至り、天井面から漏水が発生。	本事象は新潟県中越沖地震の影響により陥没したケーブルトレンチの養生が不十分であったことから発生したものと推定し、屋外の陥没部等に雨水が流入しないよう養生の方法を改善した。
8	浜岡 3 号	2009/10/8	タービン建屋内への海水の浸入	海水	空調機器冷却海水ポンプエリア	タービン建屋地下 1 階の空調機器冷却海水ポンプエリア(放射線管理区域)で、タービン建屋の配管貫通部から水が浸入していることを発見した。現場を確認したところ、タービン建屋地下 1 階の空調機器冷却海水ポンプエリアの床面に水溜まり(約 5m×約 50m)があり、この水を分析したところ、放射性物質は含まれておらず、また、海水であることを確認した。配管貫通部外側には、放水路とタービン建屋を連絡する配管ダクトがあり、ダクト内に大量の海水が浸入したため、貫通部を通じてタービン建屋内に浸入したものであった。	配管貫通部に防水効果が期待できる隙間材を追加充填するとともに、貫通部周囲にシール材を塗布し、当該配管貫通部のシール性を向上した。また、配管ダクト内に放水路から海水が浸入しないための恒久的な対策として、当該配管ダクトと放水路の連絡部に閉止板を設置することとした。
9	女川 2 号	2011/3/11	【東日本大震災関連】原子炉補機冷却水系熱交換器(B)室、高圧炉心スプレイ補機冷却水系熱交換器室および海水ポンプ室への浸水	津波	RCW 熱交換器(A)(B)室およびHPCW 熱交換器室	2011.3.11 の地震において発生した津波により、原子炉建屋地下 3 階の RCW 熱交換器(A)(B)室および HPCW 熱交換器室に流入し、各室が浸水に至った。 浸水の原因は、屋外海水ポンプ室床面設置されていた水位計収納箱上蓋が開き、津波による海水が流入し、ケーブルトレイおよび配管貫通部等の隙間、水密扉、排水系配管から漏れ出し建屋内へ浸水したものと推定される。	<ul style="list-style-type: none"> 当該水位計を取外し、開口部に閉止板を設置し密閉化を実施した。 海水ポンプ室からトレンチへの配管およびケーブルトレイ貫通部について止水処理を行った。 建屋扉の水密性向上や防潮堤、防潮壁の設置を実施する。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
10	福島第二 1, 2, 3, 4号	2011/3/11	【東日本大震災関連】福島第二原子力発電所東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について	津波	原子炉の冷温停止及び SFP の冷却に必要な設備	三陸沖を震源とする地震に伴う津波により、1号機、2号機及び4号機において、原子炉の冷温停止及びSFPの冷却に必要な設備が被水するなどして使用不能となった。これにより原子炉の除熱ができなくなったことから、同日18時33分に原災法第10条該当事象(原子炉除熱機能喪失)と判断した。	想定を大きく超える津波による浸水により原子炉除熱機能、圧力抑制機能が喪失したことを踏まえ、浸水防止策として、当該地震の際、津波が集中的に遡上した当発電所南側海岸アクセス道路を土嚢及び盛土にて築堤を配備、原子炉建屋内への浸水防止として土嚢及び防潮堤の配備、海水熱交換器建屋内への浸水防止として、扉・ハッチまわりに土嚢を配備、ポンプ廻りに土嚢を配備し、浸水による電源や除熱機能の喪失を防止した。
11	東海第二	2011/3/11	【東日本大震災関連】非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプの自動停止について	津波	非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプ	東日本大震災(震度6弱)発生に伴い発生した津波により、ポンプエリアが浸水し、非常用ディーゼル発電機 2C 用海水ポンプが水没、自動停止した。 津波対策として、仕切り壁を設置済であったが、以下の浸水経路の止水施工が未であった。 (1)北側ポンプ槽と補機冷却海水系ストレナーエリア間の排水溝用の開口。 (2)ケーブルピット。	浸水経路となった、2箇所について、コンクリート打設による閉塞措置を実施した。
12	東海第二	2011/3/21	【東日本大震災関連】125V 蓄電池 2B 室における溢水について	消火水	原子炉建屋バッテリー室	東日本大震災(震度6弱)発生に伴う、外部電源喪失によるサービス建屋実験室サンプポンプの停止と、床ファンネルを閉止していた蓋の外れとにより、サービス建屋実験室サンプ(管理区域)から原子炉建屋バッテリー室(非管理区域)へのサンプ水の流入が発生した。常用系電源の停電により開となった実験室サンプポンプシール水電磁弁から供給された消火水(停電により自動起動した、ディーゼルエンジン駆動消火ポンプにより供給)が当該サンプに流入し続け、当該サンプ内水位が上がった。それに加え、停電による当該サンプの制御電源喪失で、サンプ水位高信号が発信されなかったこと、ファンネルを閉塞していたゴム栓が外れたことで、当該サンプとの僅かな水頭差により、非管理区域側の当該ファンネルへの逆流による溢水が発生した。	当該ファンネルについては実験室サンプとの恒久的な隔離階置として、鋼板とモルタルを用いた閉止措置を実施した。 また、当該ファンネルと当該サンプの接続配管につながる複合建屋1階と中1階の他のファンネル8箇所(この内1箇所は当該ファンネル同様に逆流の可能性があった)を含め、鋼板とモルタルを用いた閉止措置を実施した。 なお、サンプポンプシール水電磁弁が停電により開となること、及び制御電源の喪失で水位高信号が発信されなくなる点について、改善を検討する。 水平展開として、管理区域からのドレンファンネル、ベント・ドレン配管などで、非管理区域において開口を有し、溢水を生じる可能性があるものの抽出と逆流の可能性の有無の確認を実施し、対象となったファンネル14箇所(既に閉止措置済みの1箇所を含む)について閉止措置を実施した。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
13	福島第二1号	2011/5/27	1号機原子炉建屋付属棟地下1階の高圧炉心スプレイ系電源室照明用分電盤からの発火について	津波	照明用分電盤	<p>停止中の1号機原子炉建屋付属棟地下1階の高圧炉心スプレイ系電源室にある照明用分電盤より発火。</p> <p>当該分電盤が津波発生時に浸水し、塩分が残留した状態で結露水が吸着したことにより、しゃ断器の絶縁抵抗が低下し、この状態で電源を投入したため漏電・発火に至ったものと推定した。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 津波により浸水した電気品については、原則交換または修理を実施する。 津波により浸水したエリアにある電気品を使用する場合は、塩分による汚損がないことを確認する。 津波の後に初めて通電する電気品については、設置環境を確認した上で、通電直前に絶縁抵抗を測定し健全性を確認する。
14	女川1号	2011/9/21	女川原子力発電所1号機台風15号によるタービン建屋への雨水の流入について	雨水	タービン建屋地下階および配管スペース	<p>1号機タービン建屋地下1階に雨水が流入していることを確認し、その後タービン建屋地下2階および配管スペースにも雨水が流入していることを確認した。</p> <p>調査の結果、雨水がタービン建屋に接続されているトレンチの開口部、建屋貫通部等を通じてタービン建屋に流入していることを確認した。また、一部のトレンチにおいて、作業により開口部の蓋を取り外している状況だった。</p>	<ol style="list-style-type: none"> ハッチ開口から浸水した場合であっても、安全上重要な機器への浸水がし難いよう、遮水壁を設置するなどの対策を実施した。 トレンチのハッチ、マンホールなどの開口部、<u>配管、電線管、ケーブルトレイ貫通部</u>について、<u>シール性向上策</u>を実施した。 類似事象を防止するため、トレンチ等のハッチカバー開放の際は、事前に浸水防止対策を講じる旨、当社 QMS 文書へ反映すると共に、請負者へ周知した。
15	柏崎刈羽6,7号	2013/6/19	柏崎刈羽原子力発電所6号機タービン建屋(管理区域)における水溜まり(雨水)の発見について	雨水	タービン建屋地下階、配管トレンチ室、トランスヤード周辺	<p>建屋間の接合部に設置したエキスパンションジョイント止水板内側へ雨水が流入し、タービン建屋内で浸水が発生。</p> <p>調査の結果、コンクリート躯体とエキスパンションジョイント止水板の密着不良箇所が確認された。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 更に隙間ゲージ(0.05mm)を用いて止水板と躯体が密着していることを確認する。 締め付けトルク値の確認 <p>応力緩和試験により得られた知見と津波影響を考慮し、締め付けトルク値を確認し、新たに200N・mで増し締めを行った。</p>

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
16	女川1号	2014/9/19	C/B2F 非常用 D/G 発電機 燃料デイトンク (B) 室軽 油漏れ	油	制御建屋階段室, 潤滑油ユニット 付近	燃料移送ポンプ試運転実施中のところ, 本来自動停止すべきデイトンク液位にて停止せず, オーバーフローした油が躯体のひびより, 他区画に伝播した。	<ul style="list-style-type: none"> 油面計が固着しないよう, 分解点検要領を見直し, 関係者へ周知, 教育実施した。 類似計器についても動作不良がないか, 確認試験を実施する。 躯体のひび割れを補修した後, 漏えい確認を実施した。 類似の躯体ひび割れ個所について, 今後, 補修を実施することとした。
17	浜岡3号	2014/10/6	タービン建屋への雨水 の浸入について	雨水	通路	タービン建屋地下1階の通路(放射線管理区域内)において, 水溜まりを発見した。タービン建屋の外側にある屋外地下ダクト(配管を通すための空間)内に雨水が溜まり, 配管貫通部より建屋内に入り込んだものと推定した。また, 浸入した雨水の量は, 合計で約8m ³ であることを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> 排水ポンプをビニール片等の影響を受けにくいフロート式センサで起動するポンプに取り替えるとともに逆止弁を取り付ける。 ブーツラバーがずれた配管貫通部について, ずれの修正を行う。 水平展開を行う。
18	東海第二	2016/6/2	廃棄物処理棟中地下1 階タンクベント処理装 置室内における液体の 漏えいに伴う立入制限 区域の設定について	廃液	廃液中和ポンプエリア床面, タンクベント処理装置室	<p>廃棄物処理棟地下1階の廃液中和ポンプエリア床面に, 天井配管貫通部付近から水の滴下を確認した。</p> <p>さらに, 滴下水の階上にある廃棄物処理棟中地下1階のタンクベント処理装置室内にてスラリー状の廃液の漏えいを確認した。</p> <p>なんらかの原因により界面活性剤(発泡成分)が床ドレン系より濃縮廃液貯蔵タンク内に混入。タンクの攪拌空気流量が一時的に低減していたことから, 廃液が均一に攪拌されなくなり, 界面活性剤を多く含む廃液がタンク上層部に分離した。</p> <p>その後, 攪拌空気量の復旧によりタンク上層部で泡沫状になり, 廃液中の固形分を巻き込んだ泡として成長し, 攪拌空気の流れとともにタンクベント冷却器側へ流出した。冷却器内の結露水と共に排出されたスラリー状の廃液はドレンファンネルを閉塞させ, タンクベント処理装置室内へ流出した。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 泡立ち原因物質である界面活性剤について, 排水を禁止するため管理区域内に持ち込む際の管理方法を定める。加えて, 廃液をタンクに受け入れる前に, 界面活性剤が混入していないことを確認する手順を定める。 タンクレベル計に, 発泡を検知できる電極式のレベルスイッチを追設し, 発泡による液位上昇を監視する。 配管の詰まりが確認されたタンクベント処理装置室内のドレンファンネルについて, 内部の清掃又は配管の取替えを実施。 地下1階への漏えい経路となった配管貫通部のラバーブーツは破れ等が認められたため交換。また, 管理区域内の配管貫通部は, 今後計画的に健全性を確認し点検計画に反映する。

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
						たまり水となったその一部が、配管貫通部を通じて階下へ滴下した。	
19	志賀 2 号機	2016/9/28	原子炉建屋内への雨水流入について	雨水	非常用電気品室	<p>原子炉建屋内に雨水が流入した。</p> <p>構内の排水路の付け替え工事に伴い、仮設の排水ポンプを設置していたが、排水能力を上回る降雨があり、構内道路の一部エリアが冠水し冠水したエリアのピット上蓋の仮設ケーブルを引き込むための隙間から雨水がピット内へ流入した。その後、ハンドホールを経由したピットからトレンチへの雨水流入により、トレンチ内の水位が上昇し、ケーブルトレイの貫通部から原子炉建屋内（非管理区域）に雨水が流入した。建屋内に流入した雨水の一部は、床の微小なひび割れを通じ、下の階（管理区域含む）へも流入した。</p>	<p>①道路が冠水しないよう仮設の雨水排水ポンプを追加した。</p> <p>②ピットと上蓋の隙間を土のうで閉止した。 大雨警報発令時、定期的にピット内への水の流入状況を確認するよう監視を強化した。</p> <p>③当該貫通部の水密化を実施</p> <p>④当該エリア床のひび割れを補修した。</p> <p>⑤警報発生時には、速やかにトレンチ内の状況を確認することの徹底を周知した。</p>

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
20	島根 2 号機	2014/10/6	原子炉補機海水系 熱交換器出口配管からの海水漏えいの確認	海水	原子炉建屋地下階	<p>第 17 回定期検査中の島根 2 号機において、原子炉建屋地下 1 階西側エレベータ付近（非管理区域）に敷設している原子炉補機冷却系熱交換器の海水系出口配管（I 系統）から海水が漏えいした。</p> <p>本事象は、外的な要因によりゴムライニングに傷が入って剥離が生じ、剥離した部分の配管内面の腐食、貫通孔が生じ漏えいに至ったものと考えられる。</p>	<p>開放点検時にライニングを損傷させないように、適切な養生材で十分に覆ったうえで固定し、作業する旨の記載を手順書に反映する。また、取合い機器（弁およびオリフィス）の復旧作業については当社社員と工事監督者のダブルチェックにより干渉の有無等について確認する旨を工事仕様書に反映する。万一、ゴムライニングを損傷させる可能性のある干渉を確認した場合には、作業を中断し、再度フランジを開放してゴムライニングの健全性を確認する。</p> <p>今回の事象を踏まえて、従来から実施している、フランジ開口部からの直接目視点検に加えて、直接目視が困難な範囲についても、CCD カメラを用いて、目視点検を実施することにより、点検内容の強化を図ることとする。</p>
21	伊方 3 号機	2015/3/20	伊方発電所 3 号機 非常用ディーゼル発電機補機室内における溢水について	冷却水	非常用ディーゼル発電機補機室	<p>伊方 3 号機において非常用ディーゼル発電機の燃料弁冷却水タンクオーバーフロー管より冷却水がオーバーフローし、床面に溢水（約 11m³）する事象が発生した。燃料弁冷却水タンクへ冷却水を補給するフロート弁の不調により、冷却水が連続補給され、タンクのオーバーフロー水が室内に滞留した。</p>	<p>(1) 当該フロート弁を新品に取替えて、動作状況に異常のないことを確認した。</p> <p>(2) 万一、フロート弁に不調があったとしてもサンプルピットへの漏えい量を低減できるよう、燃料弁冷却水タンク A および B への補給水流量を調整した。</p> <p>(3) フロート弁の動作不良のリスクを低減するため、1 号機～3 号機非常用ディーゼル発電機の燃料弁冷却水タンクおよびシリンダ冷却水タンクに設置している全てのフロート弁について取替周期を現状の 1 回/2 定検から 1 回/1 定検に変更する。</p> <p>(4) タンクへの過剰給水およびサンプルピットの異常な水位上昇を検知できるよう、3 号機非常用ディーゼル発電機について以下の検知システムを設置する。</p>

No.	ユニット	発生日	件名	水源	影響箇所	事象の概要	対策の概要
							<ul style="list-style-type: none"> ・燃料弁冷却水タンクへ水位高警報を設置する。 ・サンプピットへ水位高警報を設置する。

参考文献

No. 1～21 : 日本原子力発電(株) 東海第二発電所 補足説明資料

No. 20 : ニューシア 通番 12126 「原子炉補機海水系 熱交換器出口配管からの海水漏えいの確認」

No. 21 : ニューシア 通番 12191 「伊方発電所 3号機 非常用ディーゼル発電機補機室における溢水について」