

TK-1-445 改0

平成30年5月1日
日本原子力発電株

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

立坑構造の屋外重要土木構造物の設計方針

目 次

1. 立坑構造の屋外重要土木構造物	1
2. 評価方針	2
3. 評価条件	5
4. 水平断面の設計	14
4.1 円筒形立坑	14
4.1.1 頂版の設計	15
4.1.2 中床版の設計	17
4.1.3 底版の設計	18
4.2 矩形立坑	20
4.2.1 側壁の設計	20
4.2.2 頂版及び中床版の設計	23
4.2.3 底版の設計	25
4.2.4 カルバート接続部の設計	26
5. 円筒形の立坑構造図	28
6. 矩形の立坑構造図	41
【参考】 既工認プラントの事例	54

1. 立坑構造の屋外重要土木構造物

図 1-1 に立坑構造の屋外重要土木構造物の配置図を示す。

立坑は、直接岩盤に設置する構造物の底面長さに対して、高さ方向に長い構造である。

立坑構造の施設としては、円筒形のものとして S A 用海水ピット取水塔， S A 用海水ピット，代替淡水貯槽がある。矩形のものとしては，常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部），常設低圧代替注水系ポンプ室及び緊急用海水ポンプピットがある。

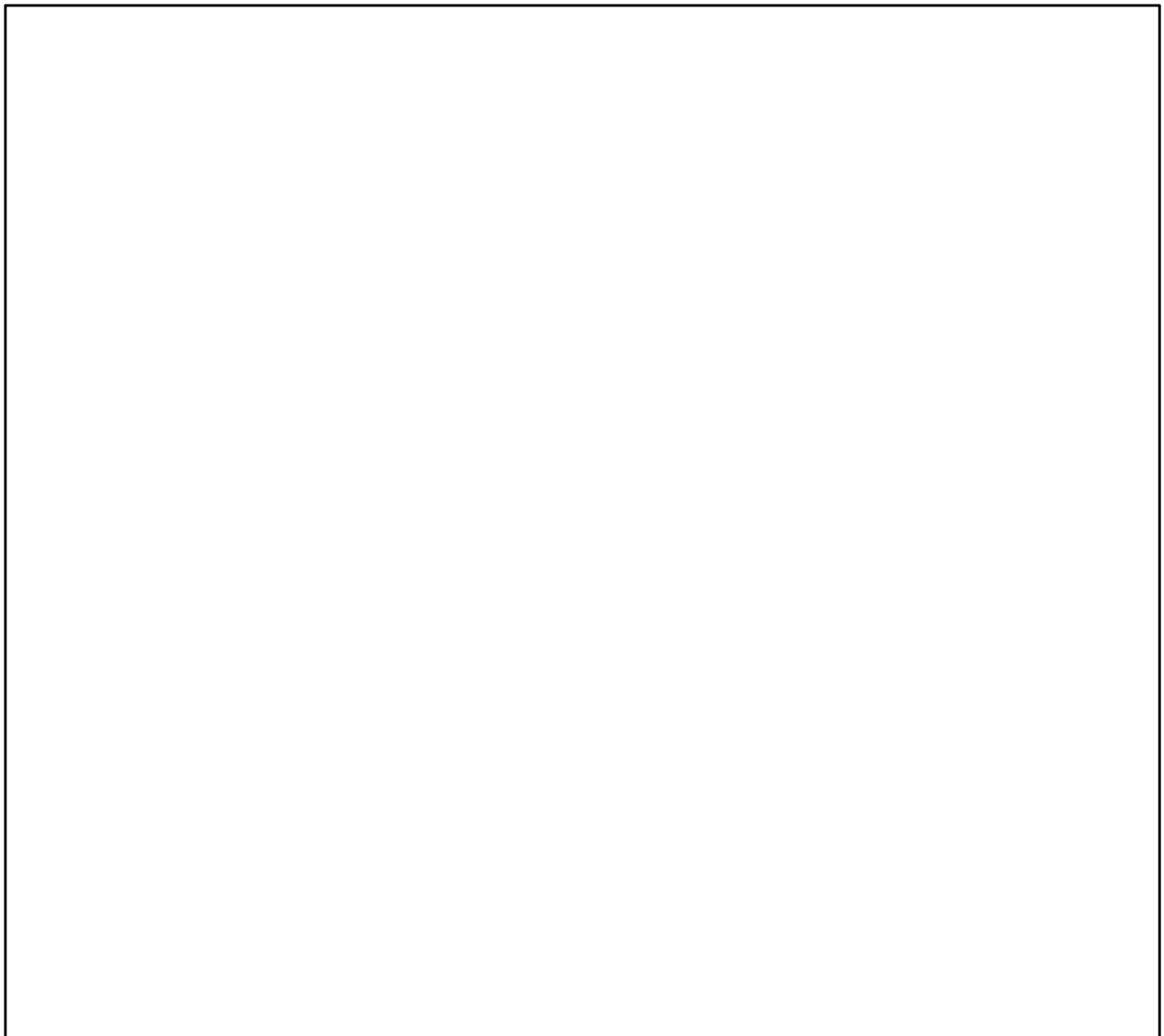


図 1-1 屋外重要土木構造物の平面配置図

2. 評価方針

立坑構造の屋外重要土木構造物の耐震評価では、地盤と構造物の相互作用を考慮する2次元有効応力解析により得られる解析結果に基づき、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

鉛直断面の健全性評価については、地震応答解析に基づく発生応力が許容限界以下であることを確認する。

水平断面の健全性評価については、地震応答解析結果から各部材の照査値にとって厳しくなる荷重条件を抽出して静的フレーム解析を実施し、発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

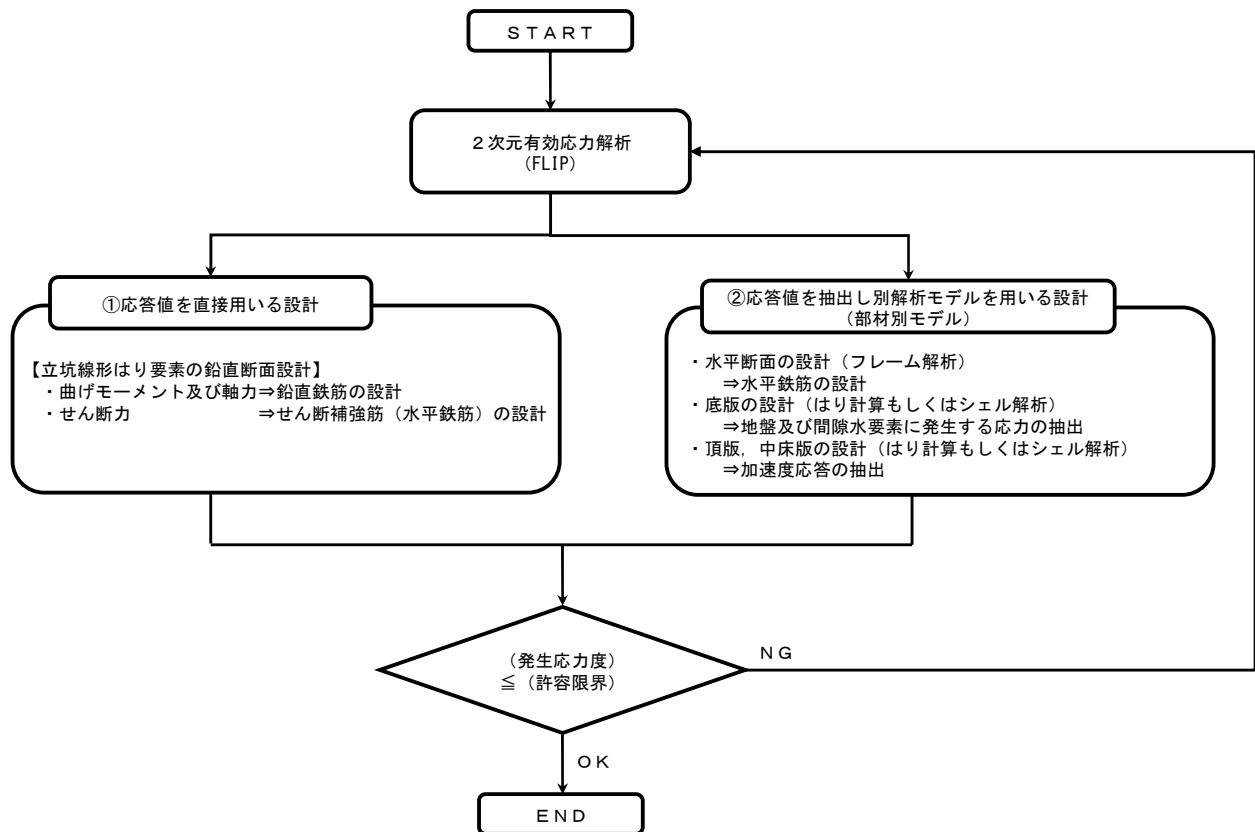
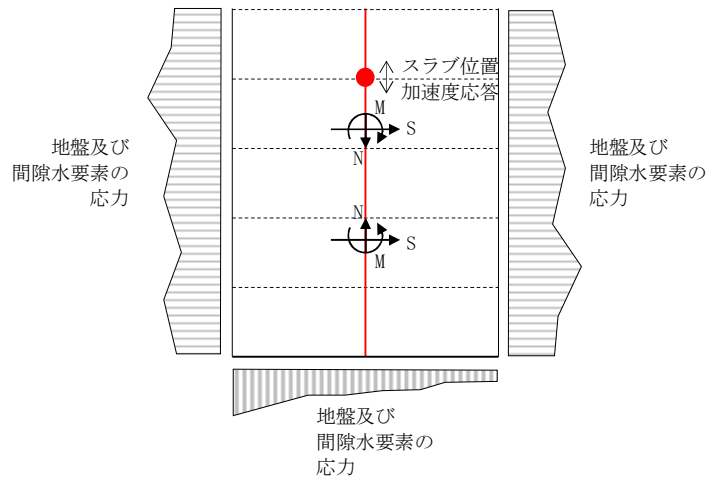
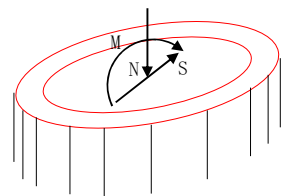


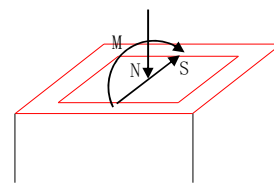
図 2-1 部材評価フロー



a) 2次元有効応力解析からの応答値の抽出

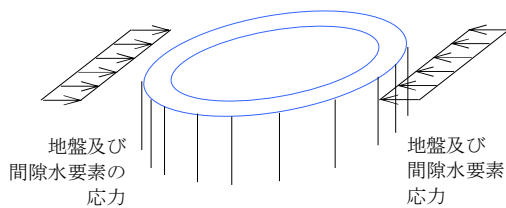


円筒形立坑

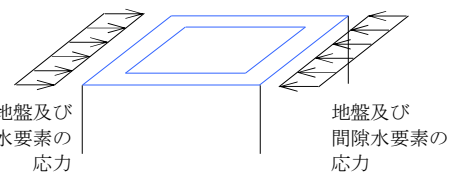


矩形立坑

b) 立坑線形はり要素の鉛直断面設計

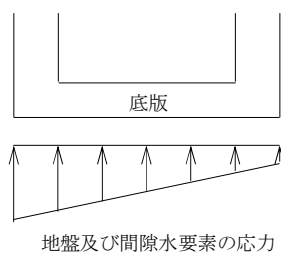


円筒形立坑

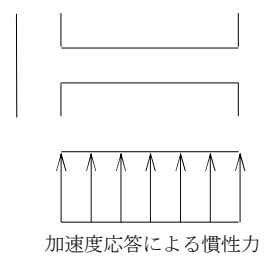


矩形立坑

c) 水平断面の設計 (フレーム計算)



底版



頂版及び中床版の設計

d) スラブの設計

図 2-2 部材評価概念図

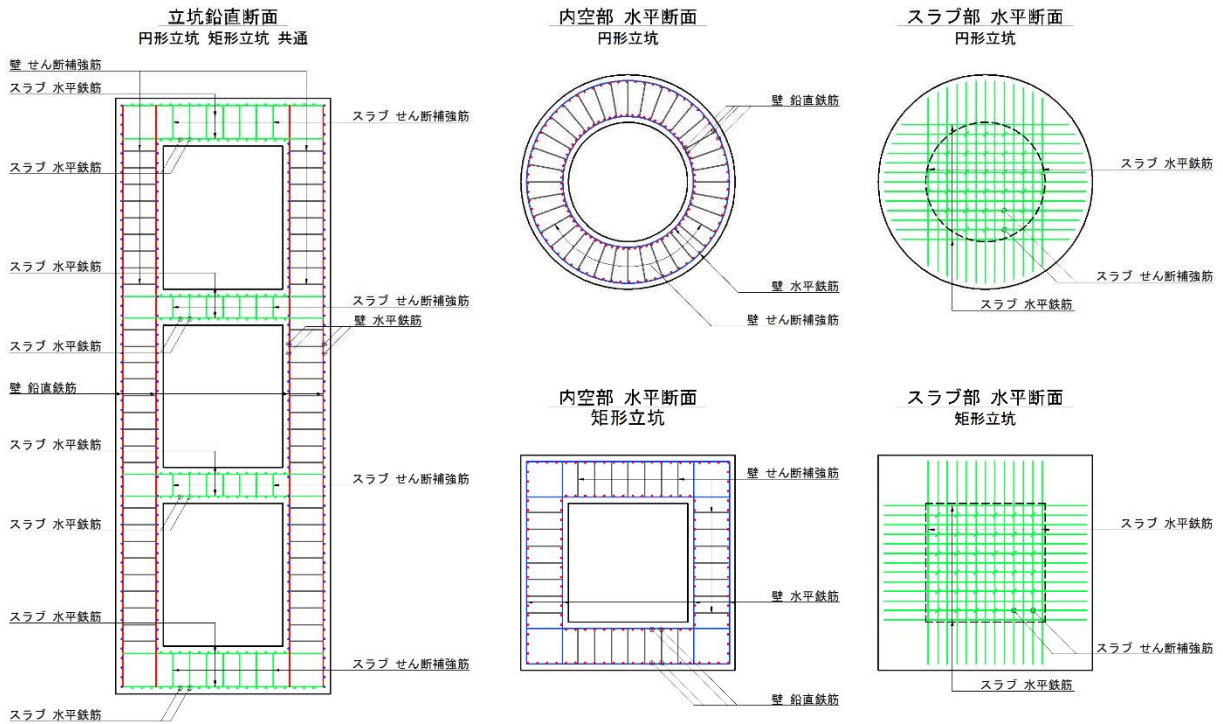


図 2-3 各部材評価で照査対象とする鉄筋

表 2-1 各部材評価で照査対象とする鉄筋

部材	照査対象鉄筋	記号	部材評価	備考
壁	鉛直鉄筋	—	立坑線形はり要素の鉛直断面設計 (曲げモーメント及び軸力)	*
	水平鉄筋	—	立坑線形はり要素の鉛直断面設計 (せん断力)	
			水平断面の設計 (曲げモーメント及び軸力)	
	せん断補強筋	—	水平断面の設計 (せん断力)	
底版	水平鉄筋	—	底版の設計 (曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	底版の設計 (せん断力)	
頂版及び 中床版	水平鉄筋	—	頂版及び中床版の設計 (曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	頂版及び中床版の設計 (せん断力)	

*注記) 壁の水平鉄筋には、鉛直断面設計におけるせん断力と水平断面の設計における曲げモーメント及び軸力が同時に作用するため、各々に対して必要となる鉄筋量を足し合わせた鉄筋量以上を配置する。

3. 評価条件

(1) 適用基準

適用する規格，基準を表 3-1 に示す。

表 3-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) 	—
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) ・道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重+偶発荷重の適切な組合せを検討 ・水平断面の地震時荷重状態
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定) ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月) 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震評価により算定した曲げ圧縮応力, 曲げ引張応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認する。 ・基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> ・J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会) 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

(2) 地下水位

地下水位は地表面とする。

(3) 地震応答解析手法

立坑構造物の地震応答解析は，地盤と構造物の相互作用を考慮できる 2 次元有限要素法を用いて，基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。構造梁は，線形はり要素でモデル化する。また，地盤については，有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については，解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，付録 24 「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図 3-1 に示す。

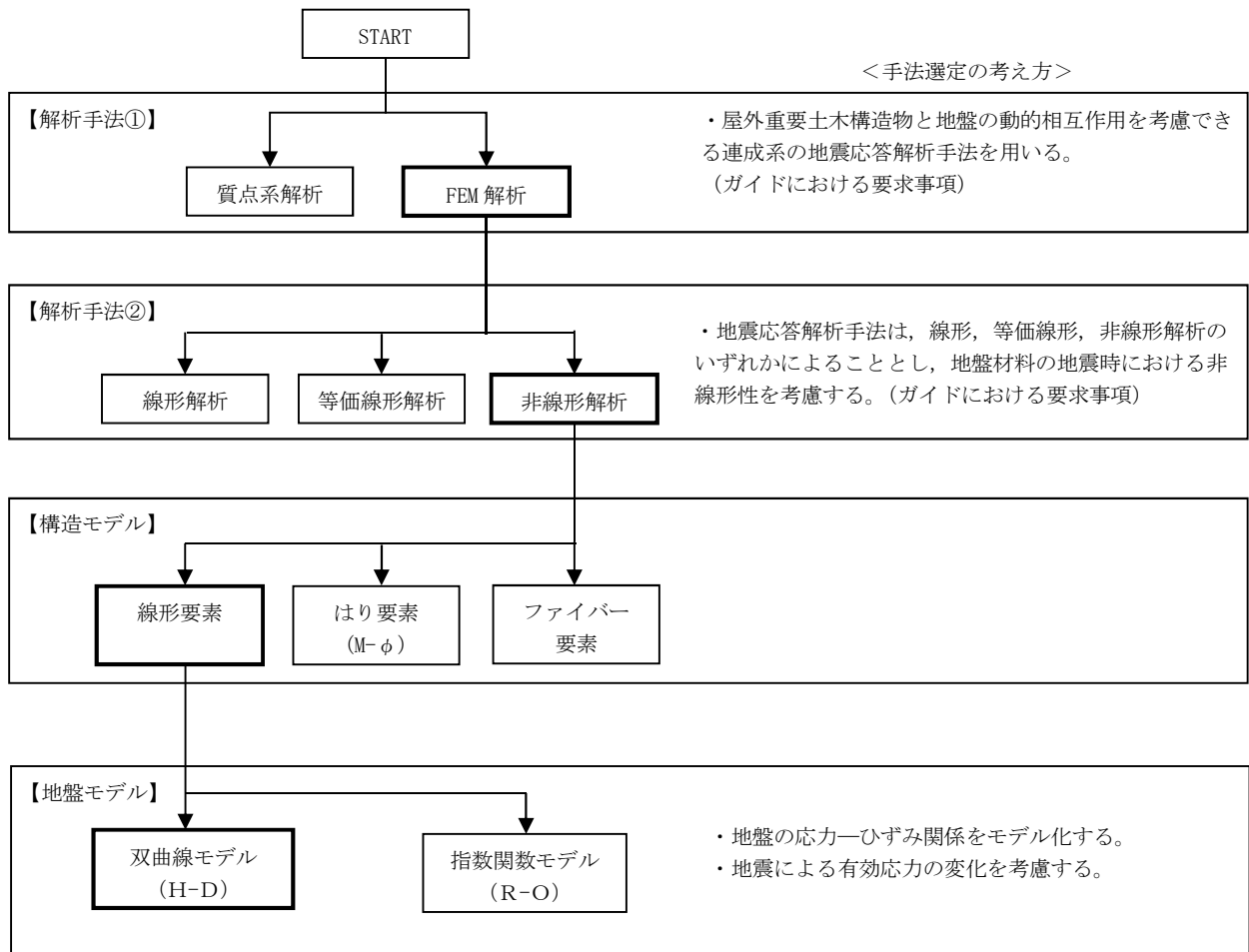


図 3-1 地震応答解析手法の選定フロー

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら 2 つの特徴を表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を選定する。

(4) 解析モデル領域

地震応答解析モデル領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1-1987 を参考に、モデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、解析モデルの境界条件は、側方における波動の反射の影響を低減するとともに、下方への波動の逸散を考慮するために、側面及び底面ともに粘性境界とする。立坑構造物の地震応答解析モデルを図 3-2 に示す。

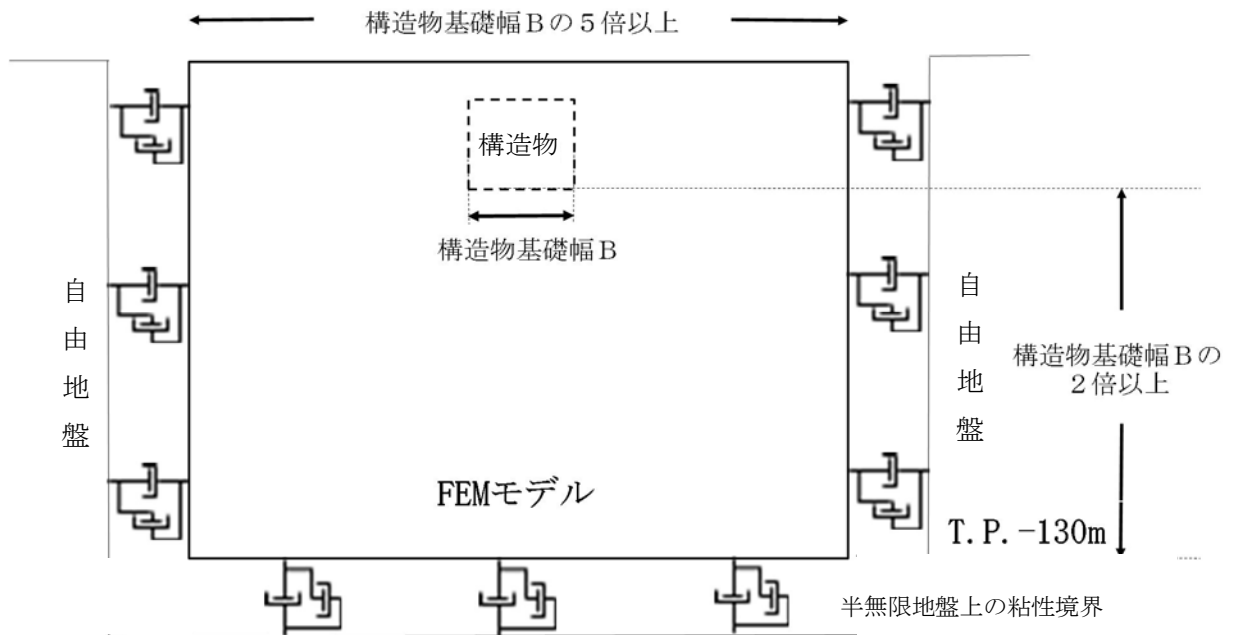


図 3-2 解析モデル領域の考え方

(5) 構造物のモデル化（円筒形立坑及び矩形立坑）

立坑の構造部材は、立坑中心位置での構造梁（鉛直はり要素）に縮合してモデル化し、立坑高さ方向の形状（頂版、中床版、底版、開口部）に応じた断面諸量（断面積 A 、断面 2 次モーメント I ）を入力する。

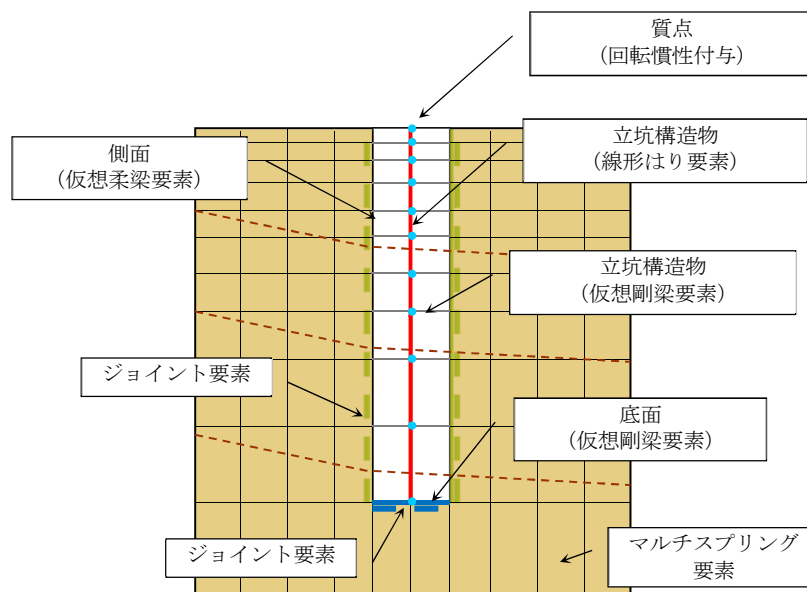


図 3-3 立坑構造物の解析モデル概念図

- ・立坑（仮想剛梁要素）；立坑構造部材に対して剛な断面性能を有する仮想剛梁を設定し地盤との相互作用を表現する。
 $100 \times EA$, $EI = 100 \times EI$, $\rho = \nu = \text{有効せん断面積} = 0.0$
- ・側面（仮想柔梁要素）；側面ジョイント要素との接合面に、解析モデルの挙動に影響を及ぼさないよう十分に柔な断面性能を有する仮想柔梁を配置する。
 $EA/10^6$, $EI/10^6$, $\rho = \nu = \text{有効せん断面積} = 0.0$
- ・底面（仮想剛梁要素）；立坑構造部材に対して剛な断面性能を有する仮想剛梁を設定し底面のロッキング挙動を表現する。
 $100 \times EA$, $EI = 100 \times EI$, $\rho = \nu = \text{有効せん断面積} = 0.0$
- ・側面および底面と地盤との間にジョイント要素を配置し、接合面の剥離及びすべりを考慮する。
- ・構造梁の質量は節点付加質量および回転慣性で考慮する。
- ・内部配管、内水、積雪荷重についても節点付加質量で考慮する。積雪については回転慣性も考慮する。

(6) 地盤のモデル化

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(7) ジョイント要素

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、強震時の地盤と構造体の接合

面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 3-4 に、ジョイント要素の考え方を示す。

なお、せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。 c 、 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とする。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

ジョイント要素のばね定数は、数値計算上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、港湾構造物設計事例集（沿岸開発技術センター）に従い、表 3-2 の通り設定する。

表 3-2 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6

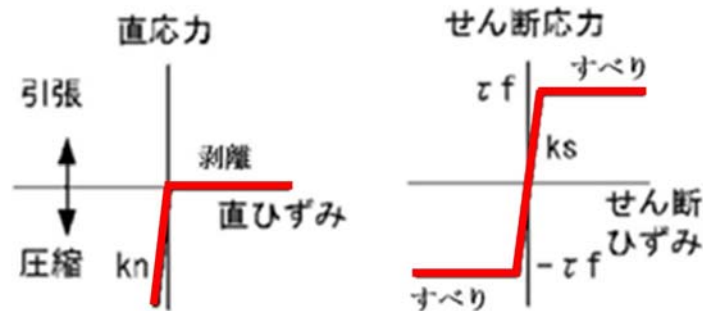


図 3-4 ジョイント要素の考え方

(8) 水荷重

満水状態の範囲においては、固定水として付加質量でモデル化し、自由水面がある範囲については、Westergaad 式により動水圧を考慮する。図 3-5 に水荷重設定に係る概念図を示す。

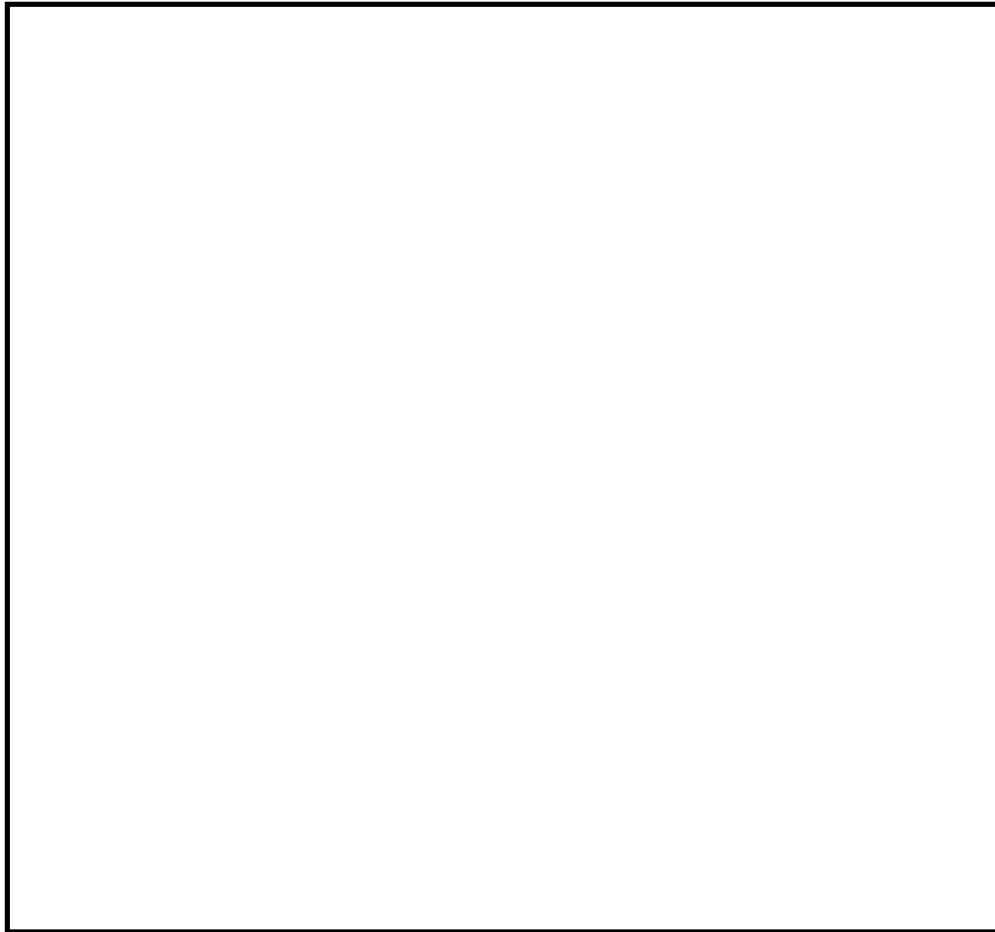


図 3-5 水荷重のモデル化概念図

表 3-3 水荷重の設定

記号	状態	水平	鉛直	内容
○	自由水面	○		負担高分の動水圧を付加質量として設定する。
●	自由水面	○		負担高分の動水圧を付加質量として設定する。
			○	中床版より上の容積の水重を付加質量として中床版上面に付加する。
○	満水	○		負担高分の水重を付加質量として付加する。
●	満水	○		負担高分の水重を付加質量として付加する。
			○	中床版より下の内空容積分の水重を 1/2 ずつ付加質量として中床版底面ならびに底盤上面に付加する。初期応力解析時は全水重を底盤上面に付加質量として設定する。

(9) 要素分割

要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、対象とする波長に対して 5 または 4 分割した値を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

(10) 剛域

2次元有効応力解析における立坑の線形はり要素モデルは、ラーメンモデルのように部材が交差及び結合する隅角部を持たないため、剛域は設定しない。

(11) 評価方針（円筒形立坑）

円形立坑は強軸及び弱軸の区分が無く、直交する2方向の断面を解析断面として選定し、立坑2方向に対し2次元有効応力解析を実施し部材仕様を決定する。立坑の鉛直鉄筋は2次元有効応力解析にて算出される線形はり要素の発生断面力（曲げモーメント及び軸力）を用いて照査を行う。

円形立坑においては、円周方向に配置した鉛直鉄筋を全断面有効として照査する。

鉛直断面のせん断照査については、発生せん断力 S に対し有効断面積 (A_w) で抵抗するものとし、せん断応力度 $\tau = S/A_w$ がコンクリート標準示方書に示される許容せん断応力度 τ_{a1} 以下であればせん断補強筋は不要である。

せん断応力度が許容せん断応力度 τ_{a1} を超える場合はせん断補強筋が必要となるが、鉛直断面せん断照査におけるせん断補強筋は、水平断面照査における主鉄筋に相当する。このため両設計で必要となる配筋量を足し合わせた配筋量で設計を行う。

なお、せん断照査においては、コンクリート標準示方書に準拠して、円と同面積を有する正方形断面を仮定してせん断抵抗部材の有効高さを設定する。

(12) 評価方針（矩形立坑）

矩形立坑は強軸及び弱軸の区分が困難であり，矩形立坑二方向を設計断面として選定する。矩形立坑二方向に対し2次元有効応力解析を実施し部材仕様を決定する。立坑の鉛直鉄筋は2次元有効応力解析にて算出される線形はり要素の発生断面力（曲げモーメント及び軸力）を用いて照査を行う。

図3-6に鉛直鉄筋配置の概念図を示す。鉛直鉄筋を配置する範囲は側壁内ー内幅（図3-6の青塗り範囲）とし，隅角部に配置される鉛直鉄筋は各2方向の設計において考慮しない。RC断面計算に用いる鉛直鉄筋配置をこのようにすることで2方向を独立して設計することができる。

鉛直断面のせん断照査については，発生せん断力（ S ）に対し図3-6の有効断面積（ A_w ，図3-6の赤塗り範囲）で抵抗するものとし，せん断応力度 $\tau = S/A_w$ がコンクリート標準示方書に示される許容せん断応力度 τ_{al} 以下であればせん断補強筋は不要である。

許容せん断応力度 τ_{al} を超える場合はせん断補強筋が必要となるが，鉛直断面せん断照査におけるせん断補強筋は，水平断面照査における主鉄筋に相当する。このため両設計で必要となる配筋量を足し合わせた配筋量で設計を行う。

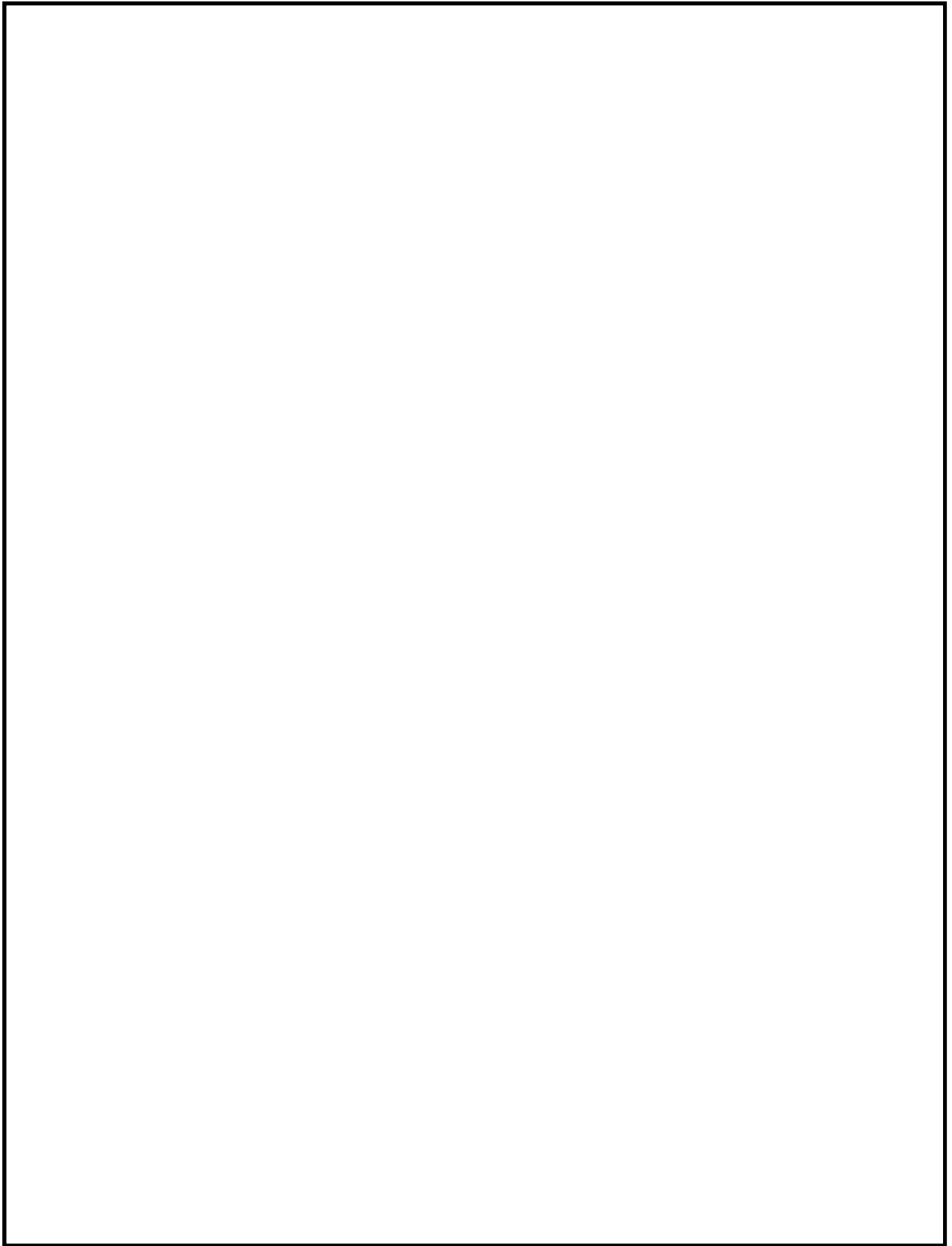


図 3-6 矩形立坑の鉛直鉄筋配置概念図

4. 水平断面の設計

4.1 円筒形立坑

円形立坑の側壁開口の最大箇所はS A用海水ピットならびにS A用海水ピット取水塔で、内径 1.2m の鋼製管によるものであるが、立坑とは岩盤内で接続すること、周長及び壁厚に比べて開口規模が小さいことから、影響は微小であると考えられる。したがって開口によって不足する鉄筋ならびに補強鉄筋を開口部周囲に配置する設計とする。

立坑水平断面については、側壁を線形はり要素としてモデル化した静的フレーム解析により照査を行なう。

水平断面の設計荷重は、配筋パターンごとの区間の中で2次元有効応力解析により得られる地震時荷重（地盤要素の水平有効直応力（ σ_x' ）+間隙水要素の発生応力（ Δu ）の前背面差分が最大となる位置の応答を抽出し、当該時刻における地震時荷重を載荷する。

常時荷重については静止土圧及び静水圧を考慮する。設計断面の適用範囲ごとに最浅部及び最深部の常時荷重を算定し、静的フレーム解析に用いる。

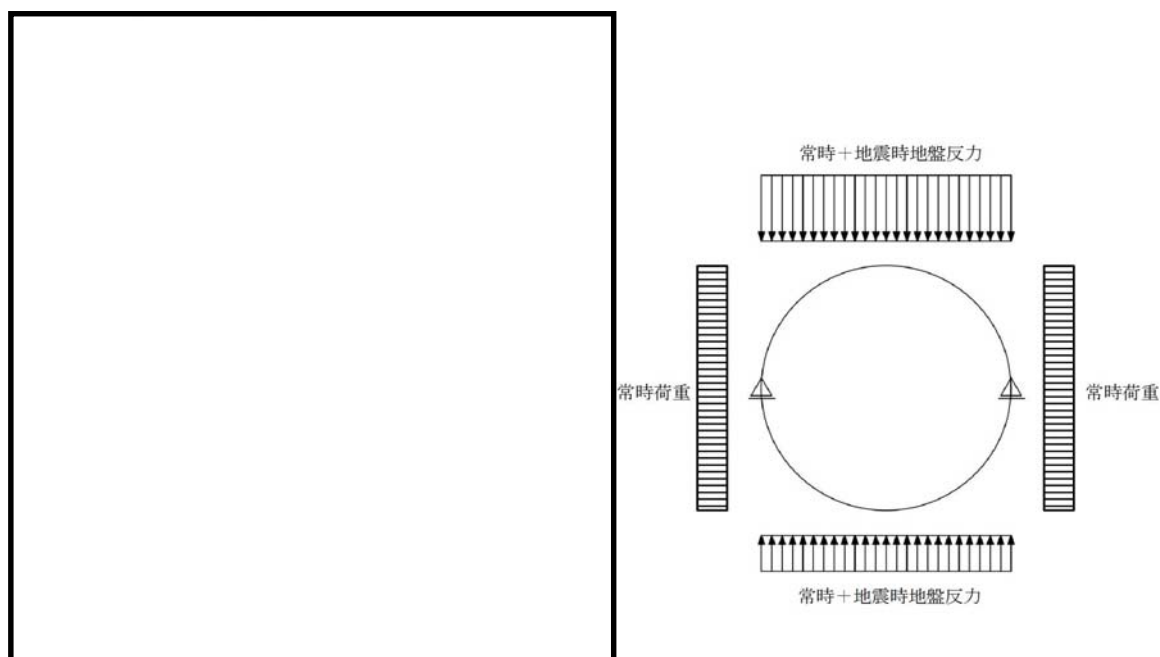


図 4.1-1 円形立坑の水平断面解析モデル概念図

4.1.1 頂版の設計

円形立坑のうち、開口の床版面積に占める割合が大きいSA用海水ピットならびにSA用海水ピット取水塔については、開口を考慮した設計を行う。

開口の割合が小さい代替淡水貯槽は、版の理論解にて断面力を算定して照査を実施し、開口補強を検討する。

(1) SA用海水ピット

可搬用ポンプ投入口による開口が一定間隔で配置されることから、開口の間を通る補強梁として設計する。概念図を図4.1.1-1に示す。

スパンは頂版が接続する側壁の中心間距離とし、境界条件は単純支持とする。

設計荷重としては、面外方向に躯体及び積雪の慣性力を静的に作用させる。

中央の梁①の設計においては、頂版に作用する全荷重を負担するものとして設計することで、梁②の設計における支点反力を改めて考慮する必要はない。

慣性力については、2次元有効応力解析により各床版位置における最大鉛直加速度を算出し、重力加速度で除することで鉛直設計震度を求め算定する。

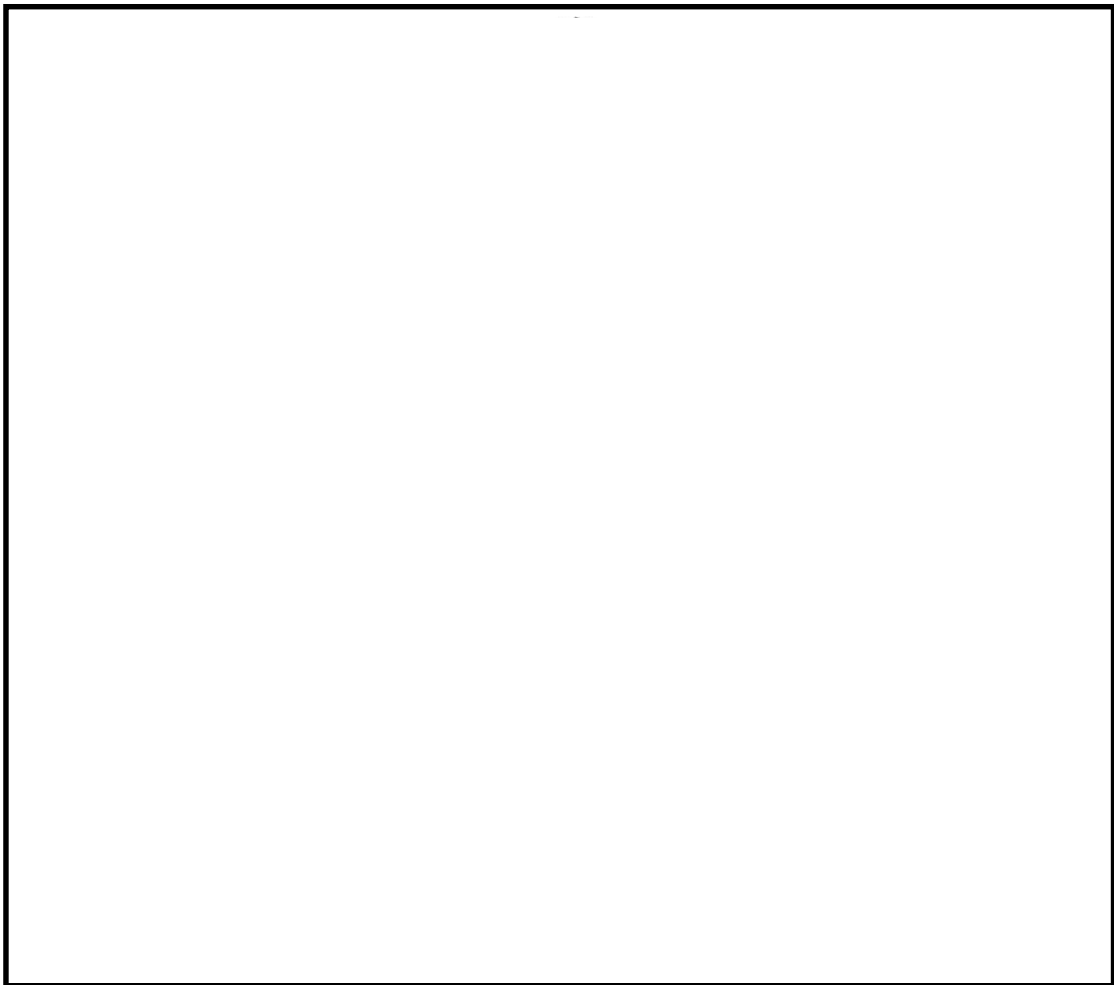


図4.1.1-1 SA用海水ピットにおける頂版の設計モデル概念図

(2) SA用海水ピット取水塔

海水の取水口による開口が半月状に存在することから，残りの半月状の版に対して単位幅のはりとして断面力を算出し設計する。概念図を図 4.1.1-2 に示す。

スパンは頂版が接続する側壁の中心間距離とし，境界条件は単純支持とする。

設計荷重としては，面外方向に躯体の慣性力を静的に作用させる。

慣性力については，2次元有効応力解析により各床版位置における最大鉛直加速度を算出し，重力加速度で除することで鉛直設計震度を求め算定する。

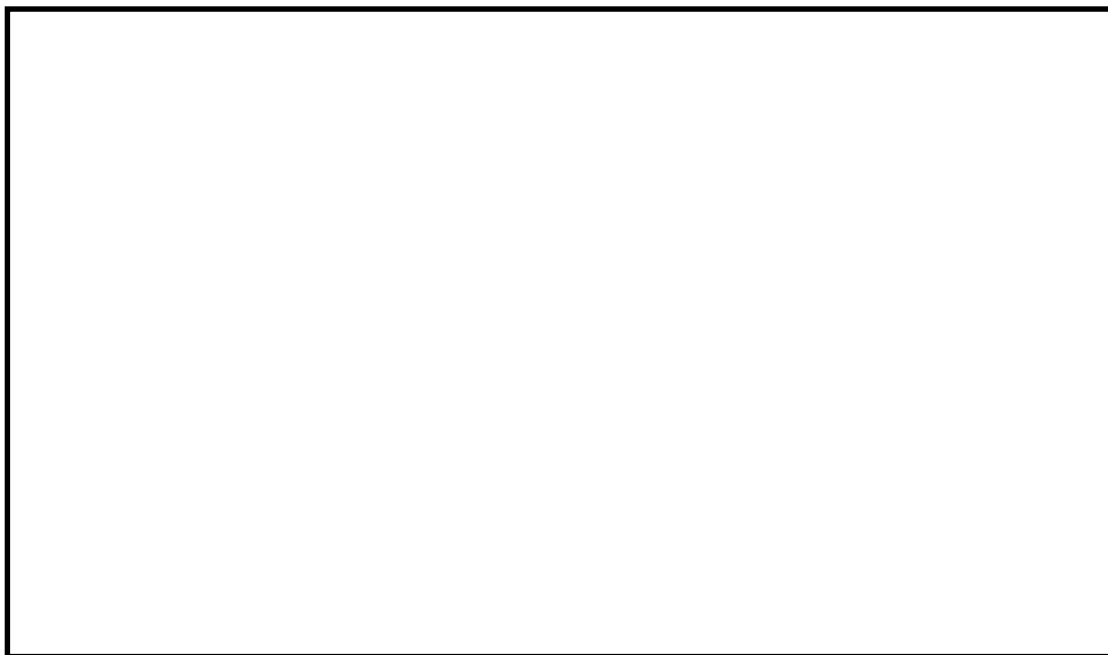


図 4.1.1-2 SA用海水ピット取水塔における頂版の設計モデル概念図

4.1.2 中床版の設計

円形立坑のうち，SA用海水ピットのみ中床版を有する。

SA用海水ピットの中床版には，津波に伴う水位上昇による可搬型ポンプの揺動を低減するための開口が存在するが，開口の床版面積に占める割合は小さいことから開口は考慮せず，単位幅のはりとして断面力を算出し設計する。概念図を図4.1.2-1に示す。

スパンは頂版が接続する側壁の中心間距離とし，境界条件は単純支持とする。

設計荷重としては，面外方向に躯体の慣性力を静的に作用させる。

慣性力については，2次元有効応力解析により各床版位置における最大鉛直加速度を算出し，重力加速度で除することで鉛直設計震度を求め算定する。

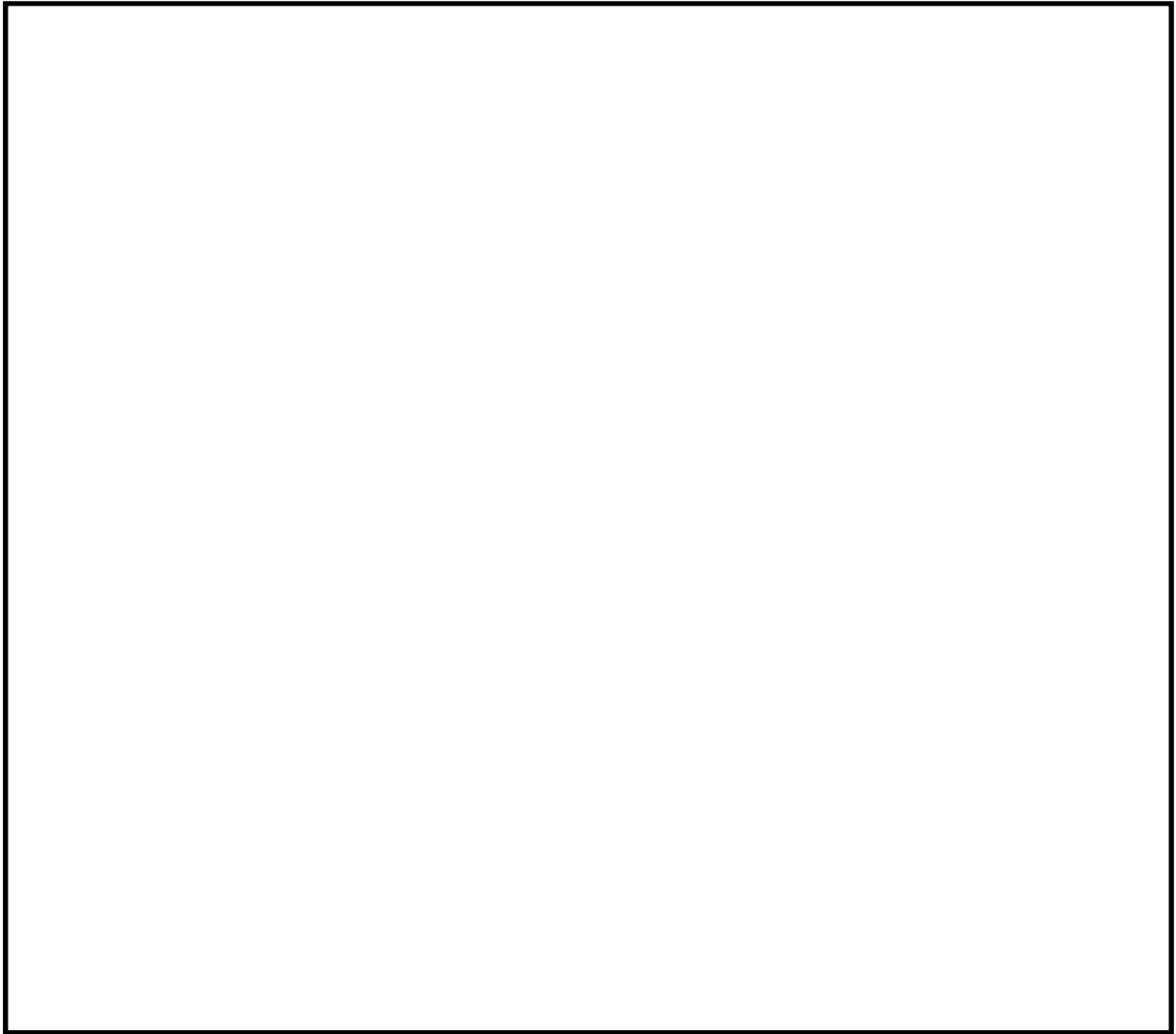


図4.1.2-1 SA用海水ピットにおける中床版の設計モデル概念図

4.1.3 底版の設計

底版の設計は、接続する側壁の中心線を境界とするシェル解析を基本として設計断面力を算定するが、単位幅のほりとしてモデル化し断面力を算出し設計する場合もある。

シェル解析の概念図を図 4.1.3-1 に、単純はりの概念図を図 4.1.3-2 に示す。

いずれも境界条件は単純支持とする。

2次元有効応力解析により、底版下面の地盤要素に発生する鉛直方向有効直応力 (σ_y')、間隙水要素の発生応力 (Δu) 及び静水圧の合計の時刻歴最大値を求め、設計荷重として作用させる。

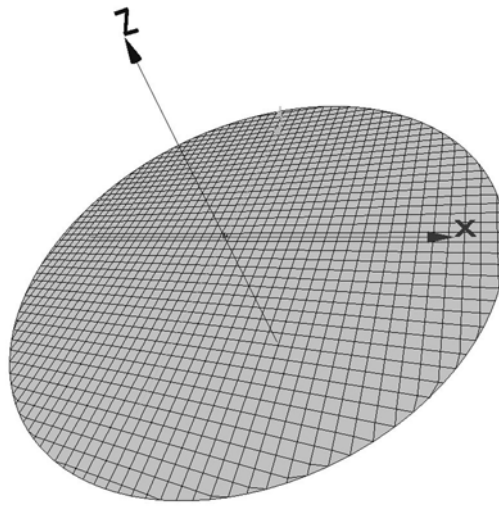


図 4.1.3-1 代替貯水水槽における底版の設計モデル概念図

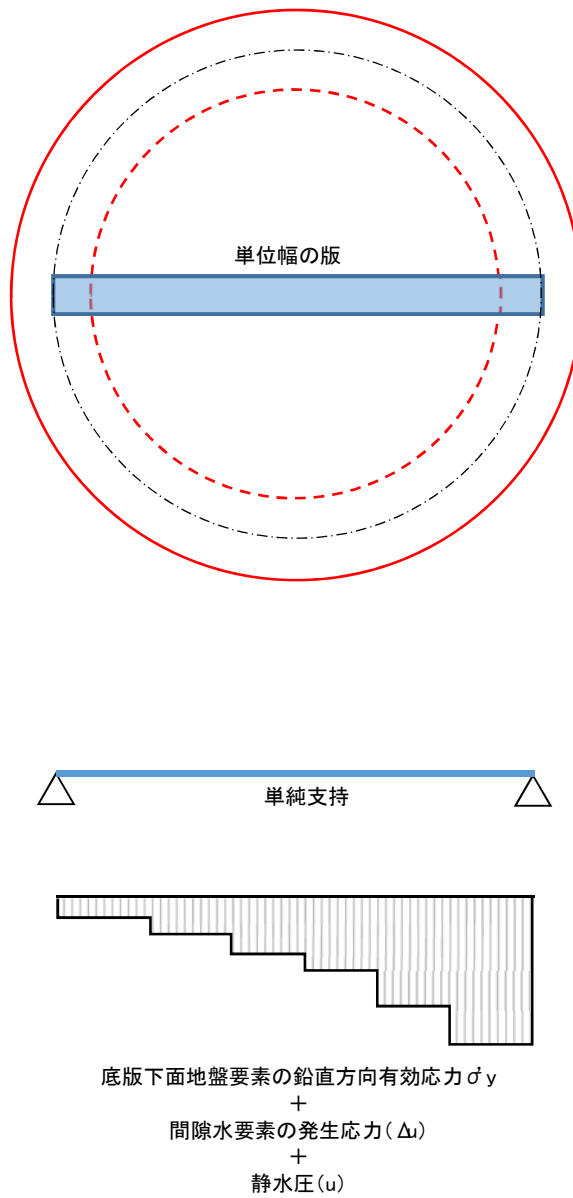


図 4.1.3-2 S A用海水ピット及びS A用海水ピット取水塔における底版の設計モデル概念図

4.2 矩形立坑

4.2.1 側壁の設計

(1) 開口部がない構造部

立坑水平断面については、立坑側壁及び中壁を線形はり要素としてモデル化した静的フレーム解析により水平断面の照査を行なう。

水平断面の設計荷重は、配筋パターンごとの区間の中で2次元有効応力解析により得られる地震時荷重（地盤要素の水平有効直応力（ σ_x' ）+間隙水要素の発生応力（ Δu ））の前背面差分が最大となる位置の応答を抽出し、当該時刻における地震時荷重を両側より载荷する。（時刻、位置によっては片側の地震時荷重がゼロとなり、片側载荷の状態も生じ得る。）

常時荷重については静止土圧及び静水圧を考慮する。ある設計断面の適用範囲内において最浅部及び最深部の常時荷重を算定し、静的フレーム解析に用いる。

境界条件については、道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（ケーソン基礎の設計）に準拠し、単純支持とする。

静的フレーム解析におけるはり要素の要素分割については、土木学会マニュアルに準拠して、各分割要素が断面厚さまたは有効高さの1.0倍程度の長さとし、各分割要素が部材の断面厚または有効高さの約2.0倍の長さを超えないように設定する。

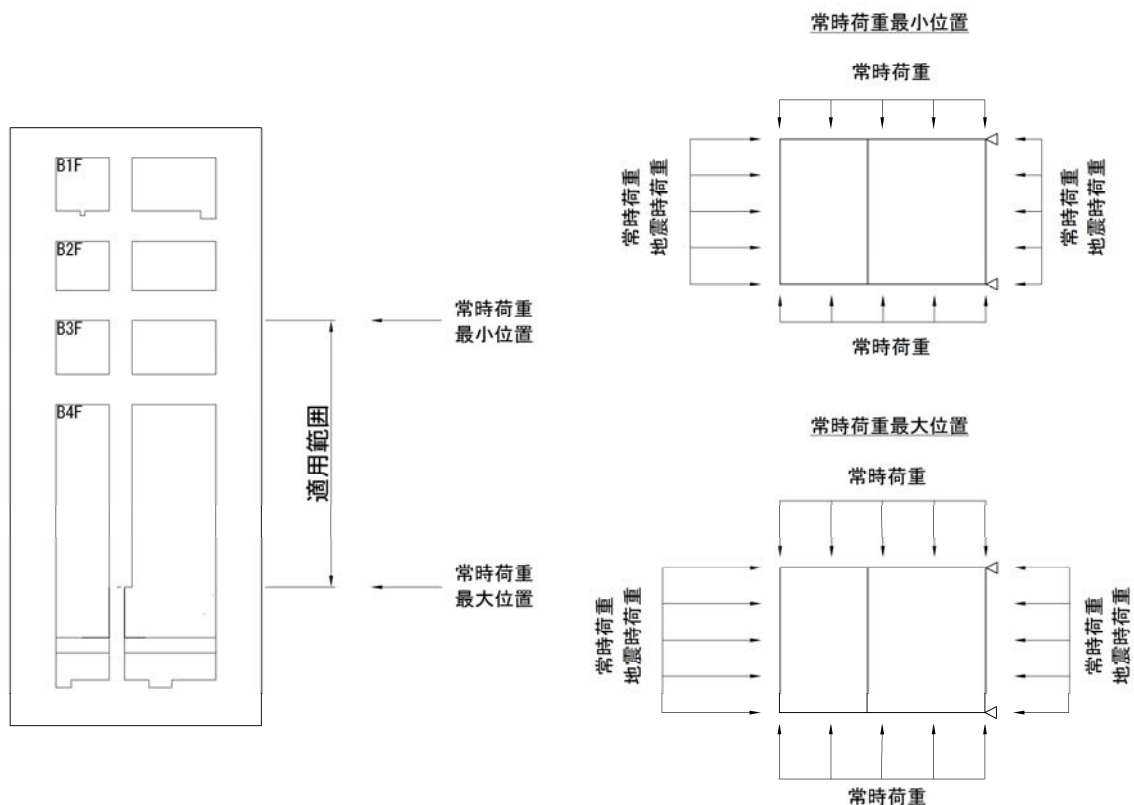


図 4.2.1-1 水平断面解析モデル概念図（一般部）

(2) 開口部を含む構造部

側壁に開口がある場合については、立坑側壁及び中壁を線形はり要素としてモデル化し、開口部は開口部上下に位置する部材に相当する等価剛性を入力した静的フレーム解析により水平断面の照査を行なう。

等価剛性の設定にあたっては、図 4.2.1-2 に示す全高中に開口上下の部材及び開口部が存在するが、これら剛性を足し合わせ、それを解析奥行 1.0m 相当にして入力する。

得られた断面力に対し水平鉄筋を決定するが、等価剛性を入力した部材（図 4.2.1-2 中赤線にて示す範囲）については、スターラップで内外主鉄筋を拘束するはりの配筋を施すことで対応する。

水平断面の設計荷重は、図 4.2.1-2 に示す全高範囲の中で 2 次元有効応力解析により得られる地震時荷重（地盤要素の水平有効直応力（ σ_x' ）+ 間隙水要素の発生応力（ Δu ））の前背面差分が最大となる位置の応答を抽出し、当該時刻における地震時荷重を両側より載荷する。（時刻、位置によっては片側の地震時荷重がゼロとなり、片側載荷の状態も生じ得る。）

常時荷重については、静止土圧及び静水圧を考慮する。設計断面の適用範囲内において最浅部及び最深部の常時荷重を算定し、静的フレーム解析に用いる。

境界条件については、道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（ケーソン基礎の設計）に準拠し、単純支持とする。

静的フレーム解析におけるはり要素の要素分割については、土木学会マニュアルに準拠して、各分割要素が断面厚さまたは有効高さの 1.0 倍程度の長さとし、各分割要素が部材の断面厚または有効高さの約 2.0 倍の長さを超えないように設定する。

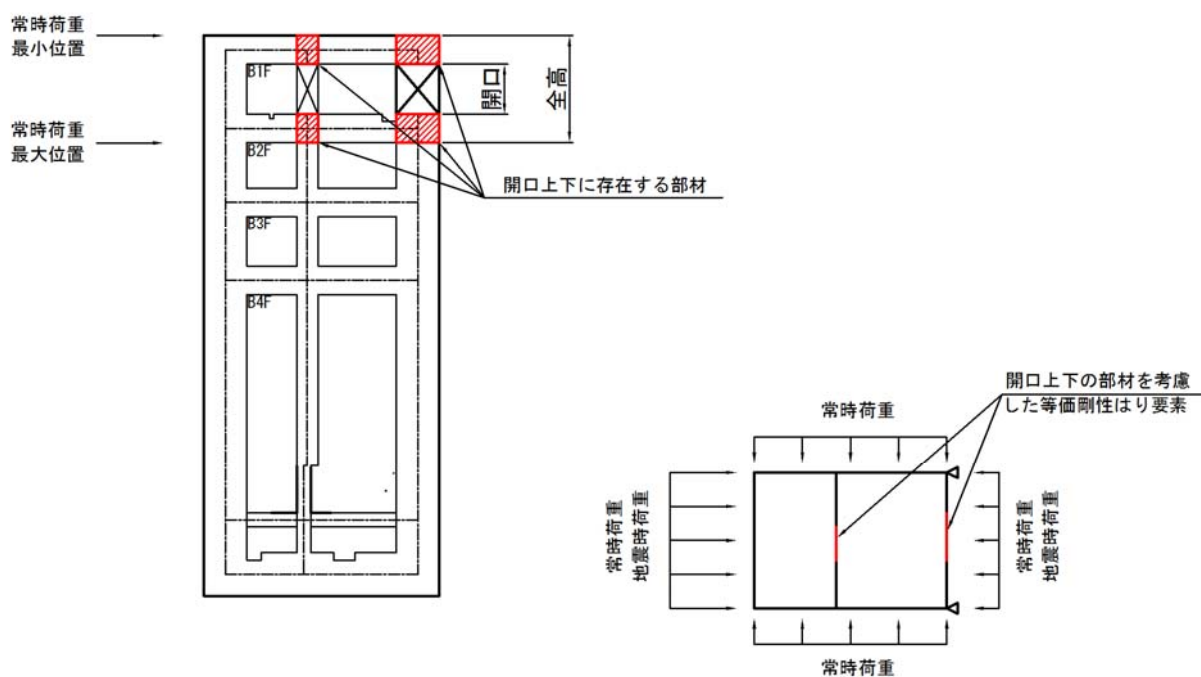


図 4.2.1-2 水平断面解析モデル概念図（開口部）

剛域の考え方

水平断面フレーム解析においては、コンクリート標準示方書【構造性能照査編】2002年版に準拠し、隅角部に剛域を設ける。

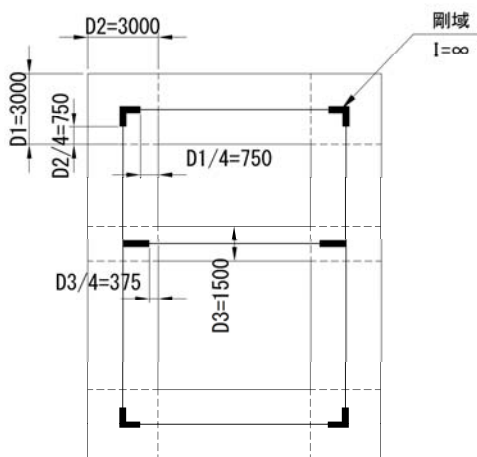


図 4.2.1-3 水平断面フレーム解析における剛域の考え方

4.2.2 頂版及び中床版の設計

頂版及び中床版については、開口形状を模擬したシェル解析により設計断面力を算定する。

スパンは頂版及び中床版が接続する側壁及び中壁の中心間距離とし、境界条件は単純支持とする。

設計荷重は、面外方向に躯体及び機器類の慣性力を静的に作用させる。頂版については積雪の慣性力も考慮する。

慣性力については、2次元有効応力解析により各床版位置における最大鉛直加速度を算出し、重力加速度で除することで鉛直設計震度を求め算定する。

シェル解析における要素分割については、土木学会マニュアルに準拠して、各分割要素が断面厚さまたは有効高さの1.0倍程度の長さとし、各分割要素が部材の断面厚または有効高さの約2.0倍の長さを超えないように設定する。

シェル要素のアスペクト比については、「コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン（1989年3月 日本コンクリート工学協会）」を参考とした。

図4.2.2-4にガイドラインの抜粋を示す。アスペクト比については原則的に1:1とし、最大でも1:5程度を限度とする。

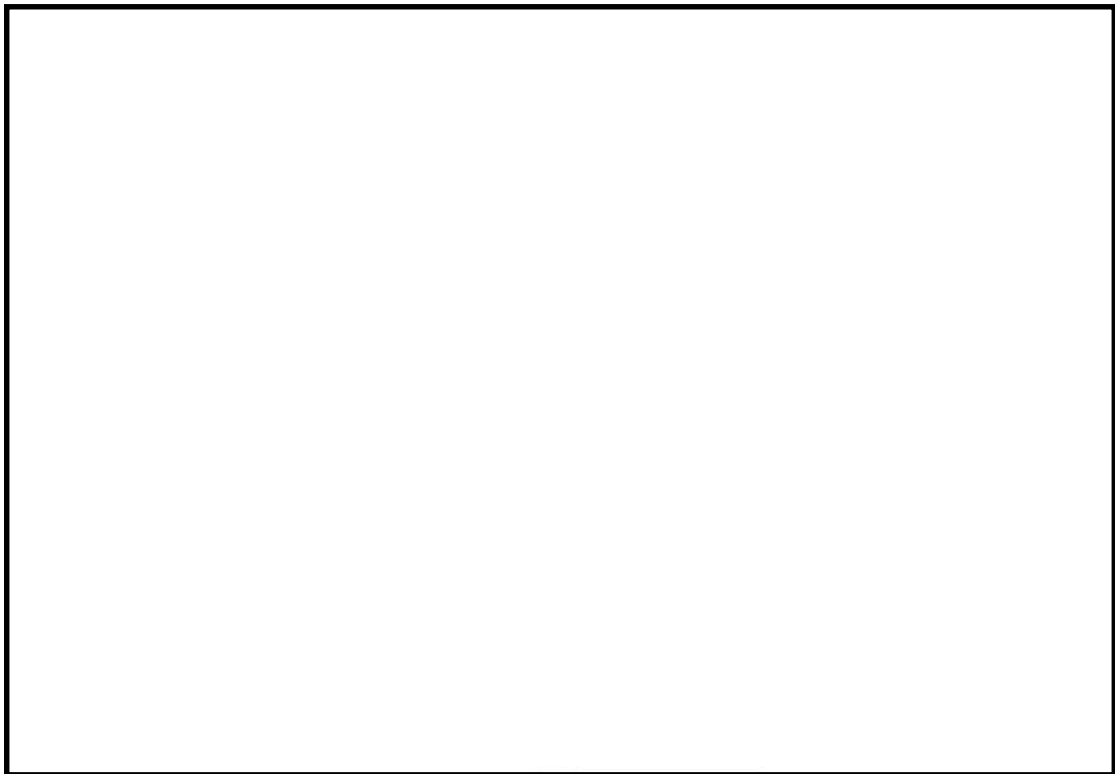


図 4.2.2-1 頂版及び中床版平面図

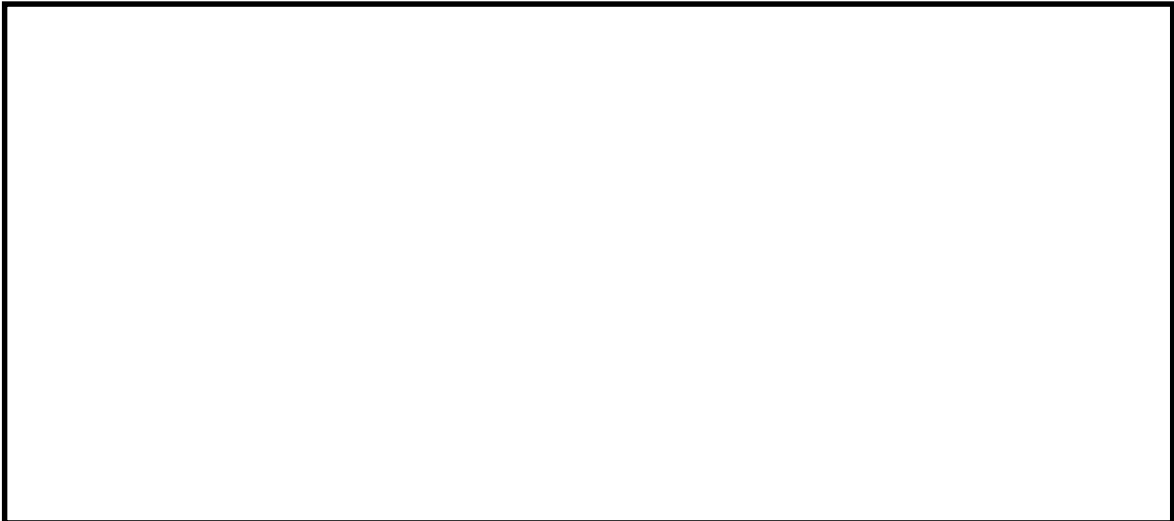


図 4. 2. 2-2 頂版及び中床版シェル解析概念図

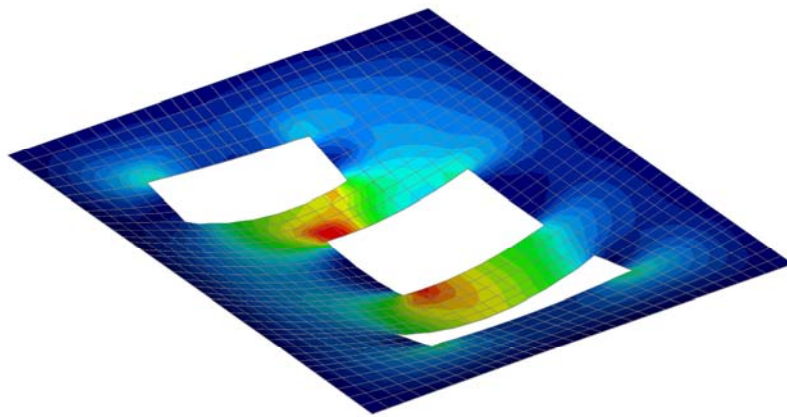


図 4. 2. 2-3 シェル解析断面力図 (例)

3. 3. 2 要素分割

(1) 要素分割と要素の縦横比

四辺形要素の縦横比は原則的に1:1が望ましく、特に、着目点近傍では1:1とするのがよい。応力解析で、応力勾配が急な場合のみならず応力の流れがほぼ一定となる場合でも、1:5程度を限度とするように心がけるべきである。

止むを得ず縦横比の大きい要素を使用する場合でも、解析結果の連続性をチェックするのがよい。一般的な変位法に基づく有限要素法では、変位の連続性は確保されるが、応力は連続していない。これに対して、応力法、ハイブリッド法等では、応力の連続性を満足するように解が求められている。すなわち、このことを理解した上で、かつ、使用している有限要素法の解法を理解し、連続性のチェックを行うことが肝要となる。

図 4. 2. 2-4 コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン
(日本コンクリート工学協会 1989 年 3 月)

4.2.3 底版の設計

底版は接続する側壁及び中壁の中心間距離をスパンとしたシェル解析により設計断面力を算定する。境界条件は単純支持とする。

設計荷重は2次元有効応力解析において、底版下面の地盤要素に発生する鉛直方向有効直応力 (σ_y')、間隙水要素の発生応力 (Δu) 及び静水圧の全時刻最大値を作用させる。

シェル解析における要素分割は、頂版及び中床版における設定と同じとする。

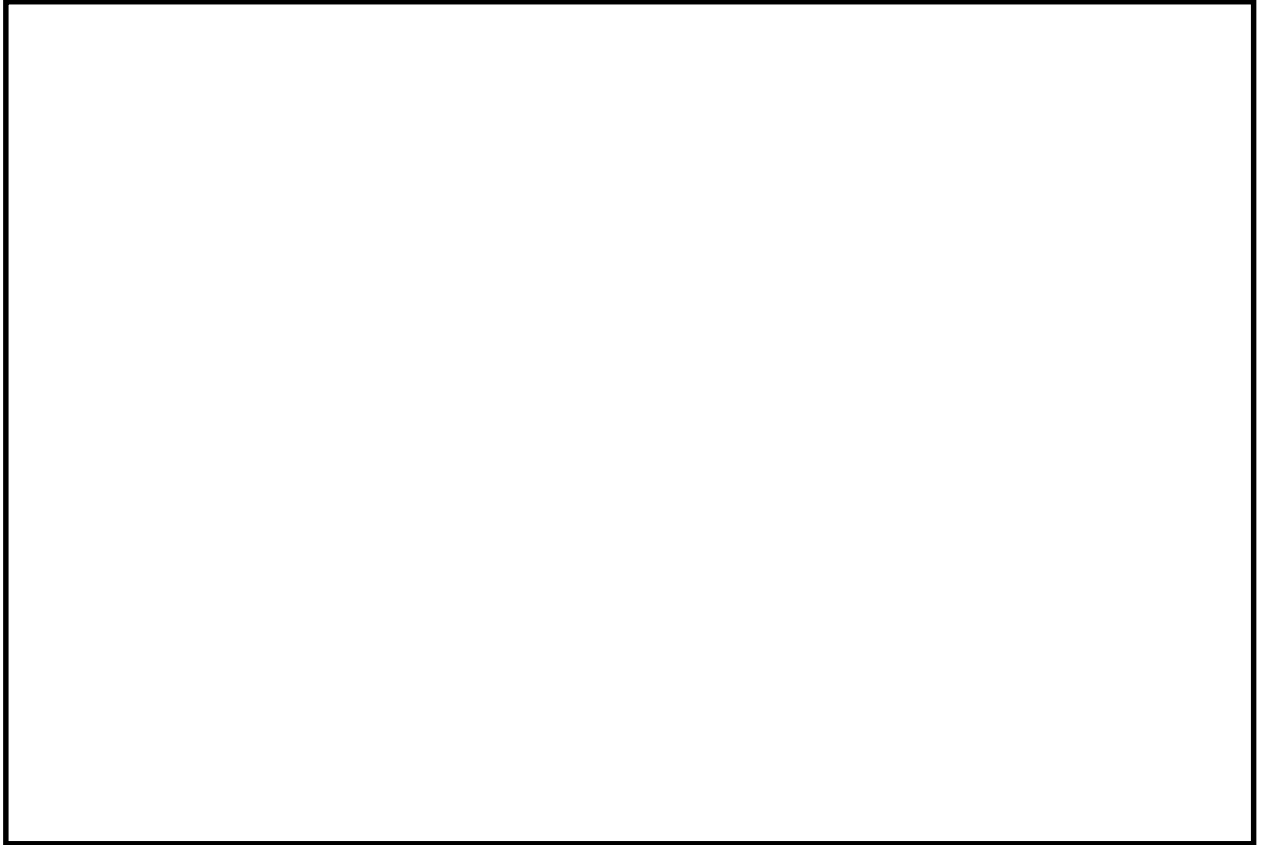


図 4.2.3-1 底版シェル解析概念図

4.2.4 カルバート接続部の設計

側壁に鉄筋コンクリートカルバートが接続する断面では，カルバートの影響を考慮したモデル化ならびに設計を行なう。図 4.2.4-1 にカルバート接続部の地震応答解析モデルを示す。

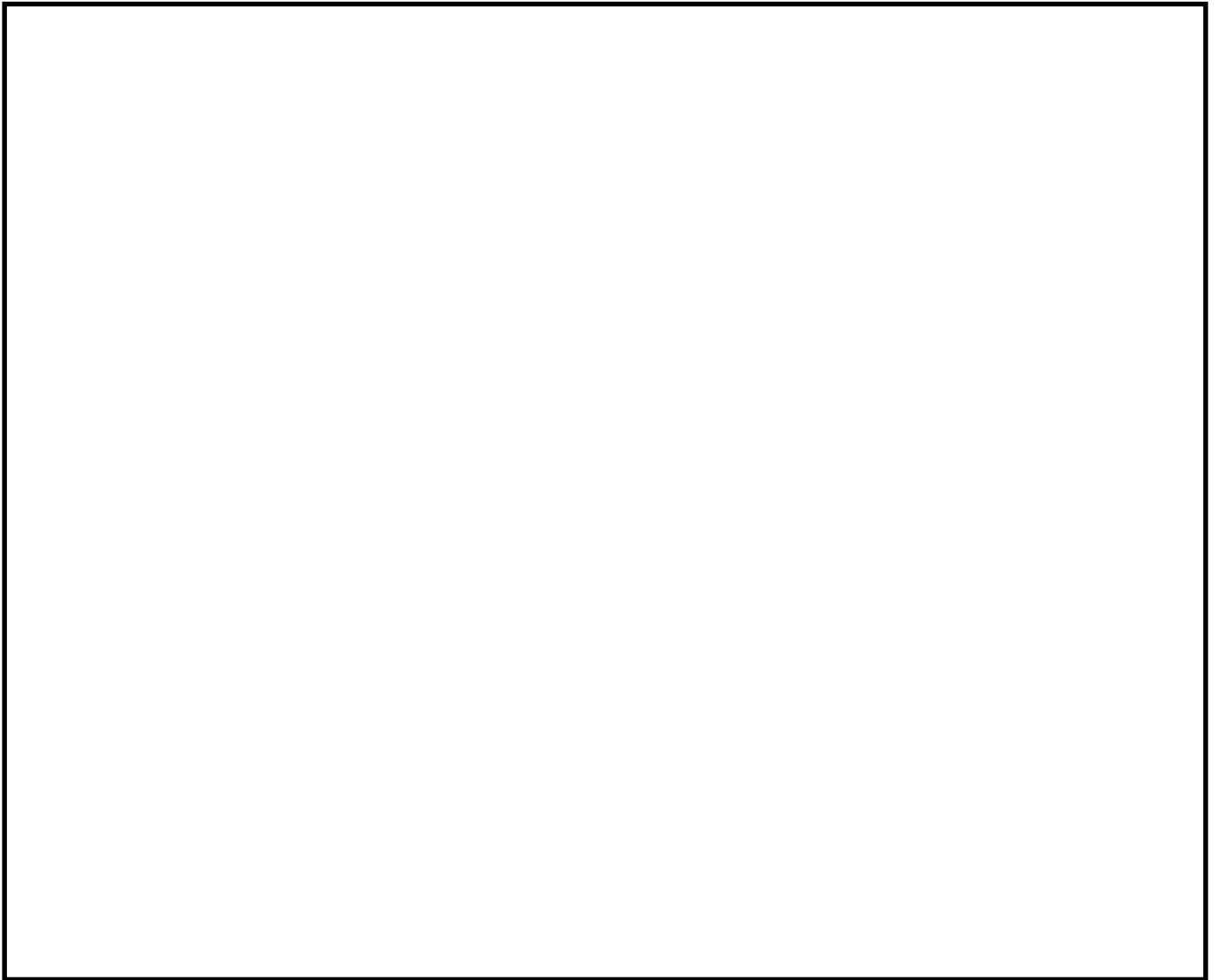


図 4.2.4-1 カルバート接続部の地震応答解析モデル図

(1) カルバート延長方向

1) 上下方向の曲げ，せん断

地震応答解析におけるカルバート部はり部材の断面力 (M, S, N) を用いて，カルバート断面 (ロの字) に対して部材照査を行う。設計モデルの概念図を図 4.2.4-2 に示す。

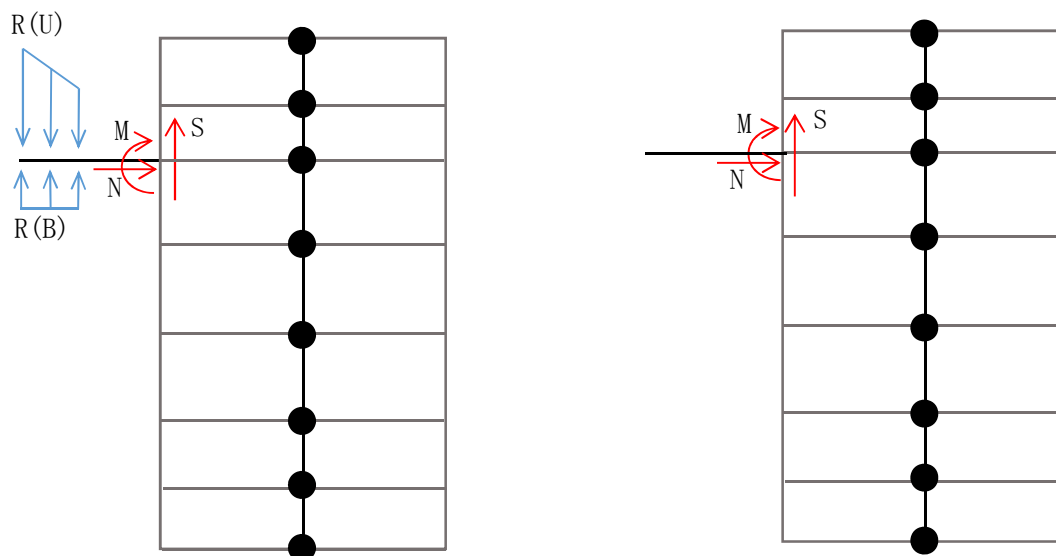


図 4.2.4-2 カルバート延長方向鉛直曲げに対する設計モデル概念図

2) 水平方向の曲げ，せん断

直交方向 (モデル上カルバートが無い断面) の地震応答解析におけるカルバート高さにおける左右の土圧差が最大となる時刻の (地盤応力+間隙水応力) を用いて，立坑外面を固定端とする片持ち梁として断面力を算定し，部材照査を行う。設計モデルの概念図を図 4.2.4-3 に示す。

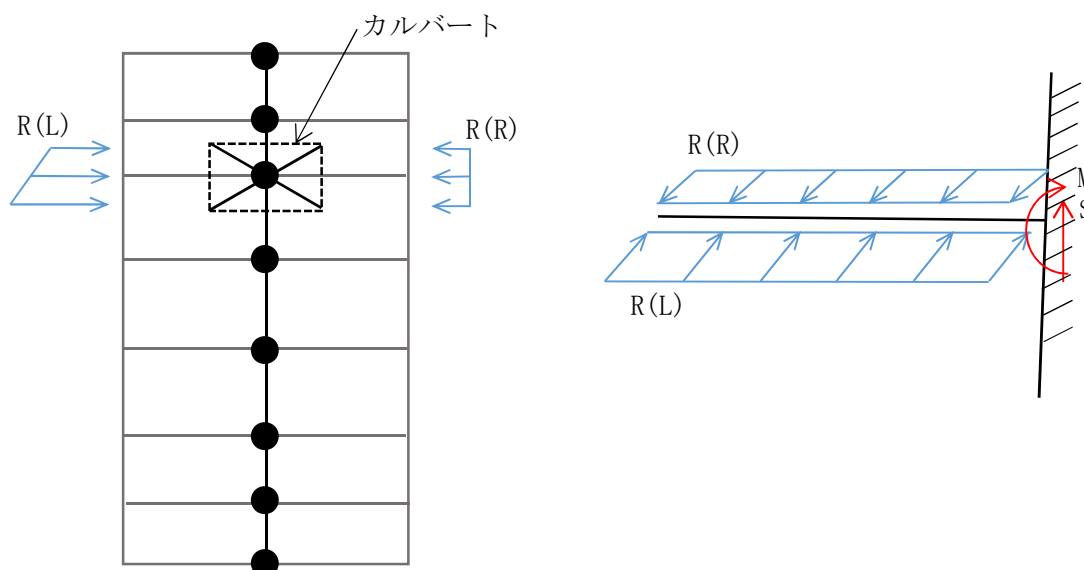


図 4.2.4-3 カルバート延長方向水平曲げに対する設計モデル概念図

5. 円筒形の立坑構造図

円筒形の立坑構造物は、SA用海水ピット取水塔、SA用海水ピット及び代替淡水貯槽がある。

(1) SA用海水ピット取水塔

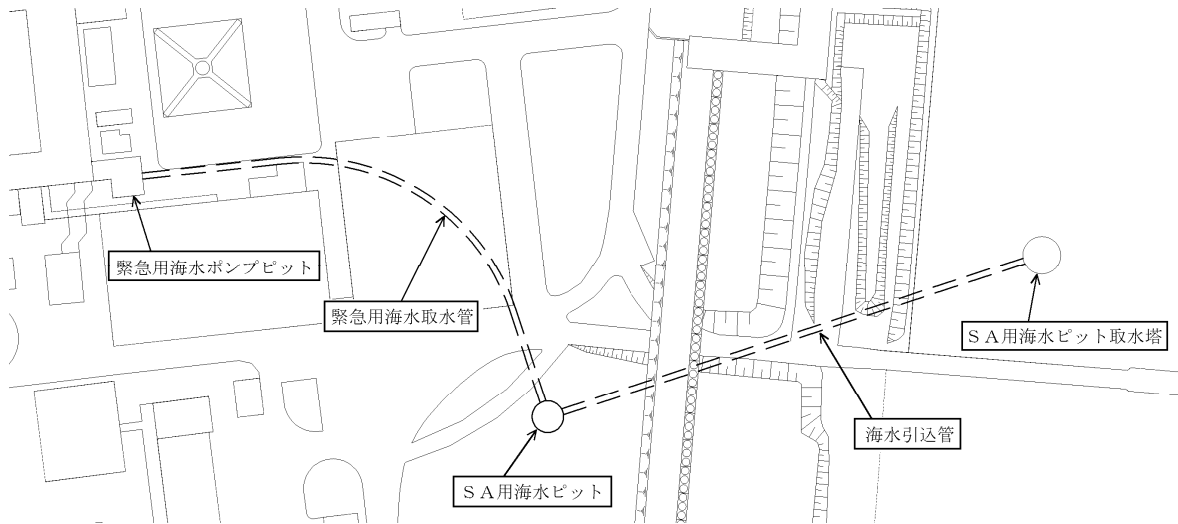


図 5-1 (1) SA用海水ピット取水塔位置図(拡大図)

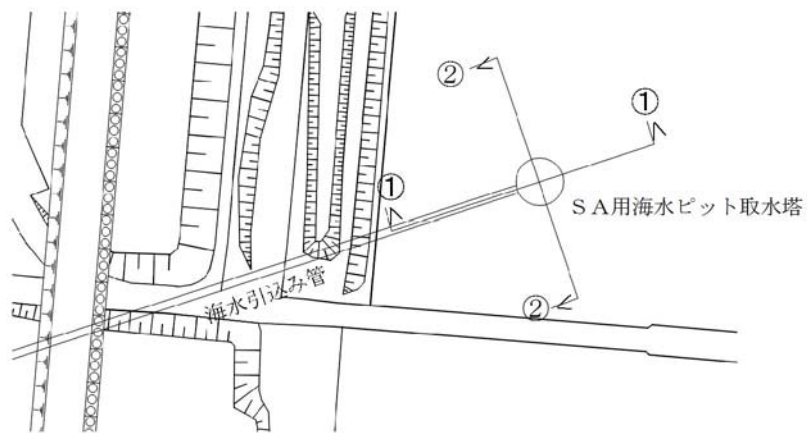


図 5-1 (2) SA用海水ピット取水塔 評価対象断面位置図

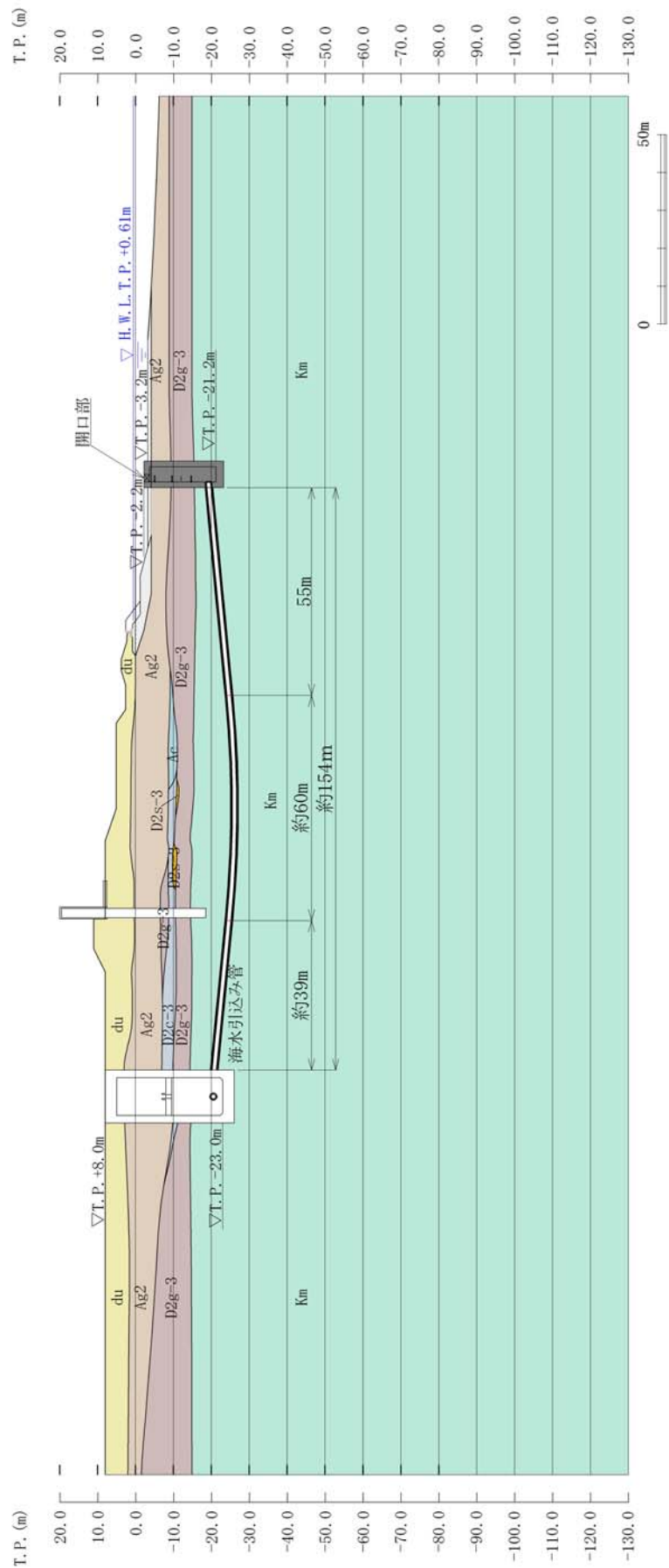


図5-1 (3) SA用海水ピット取水塔 評価対象断面図 (①-①断面)

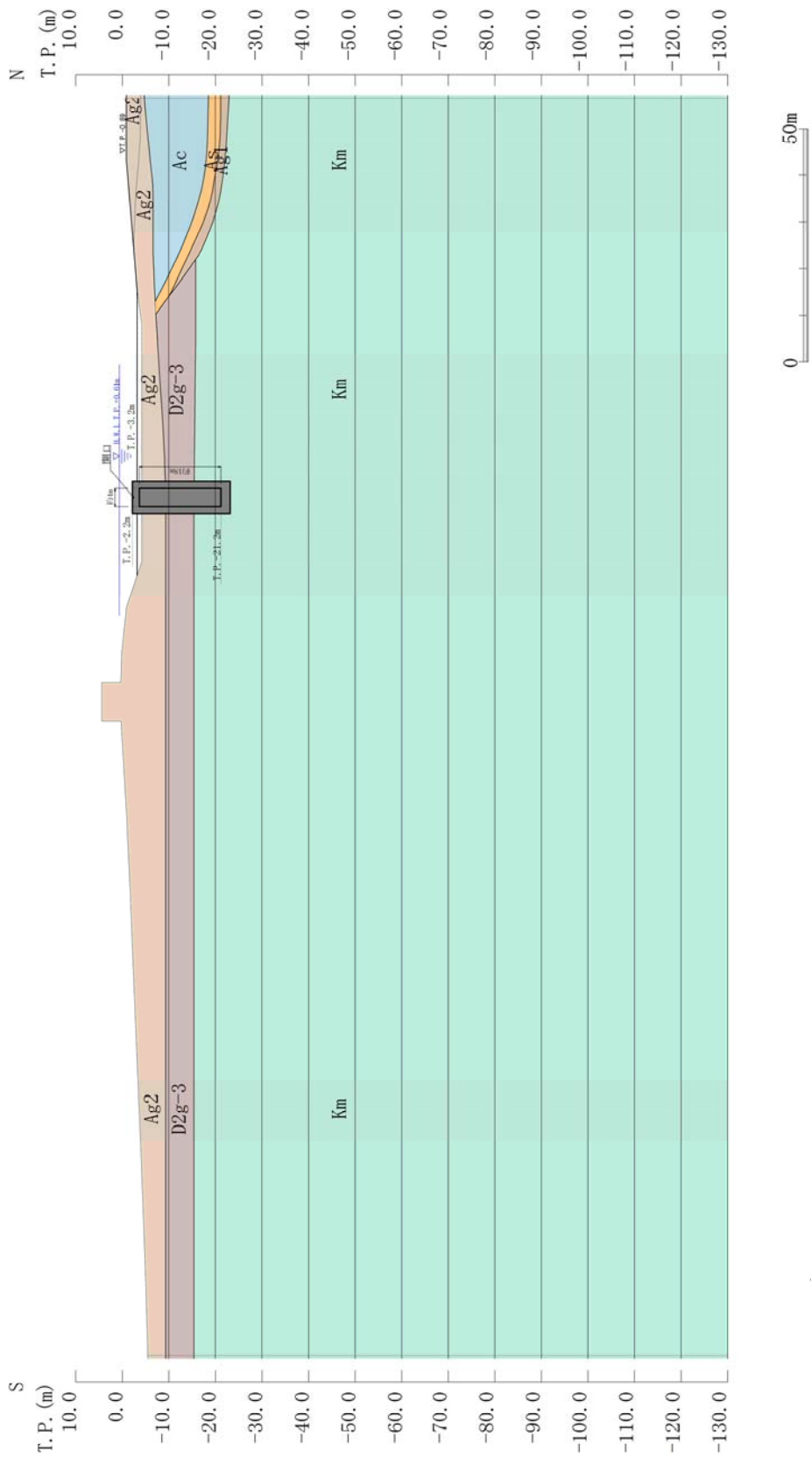


図5-1 (4) SA用海水ピット取水塔 評価対象断面図 (②-②断面)

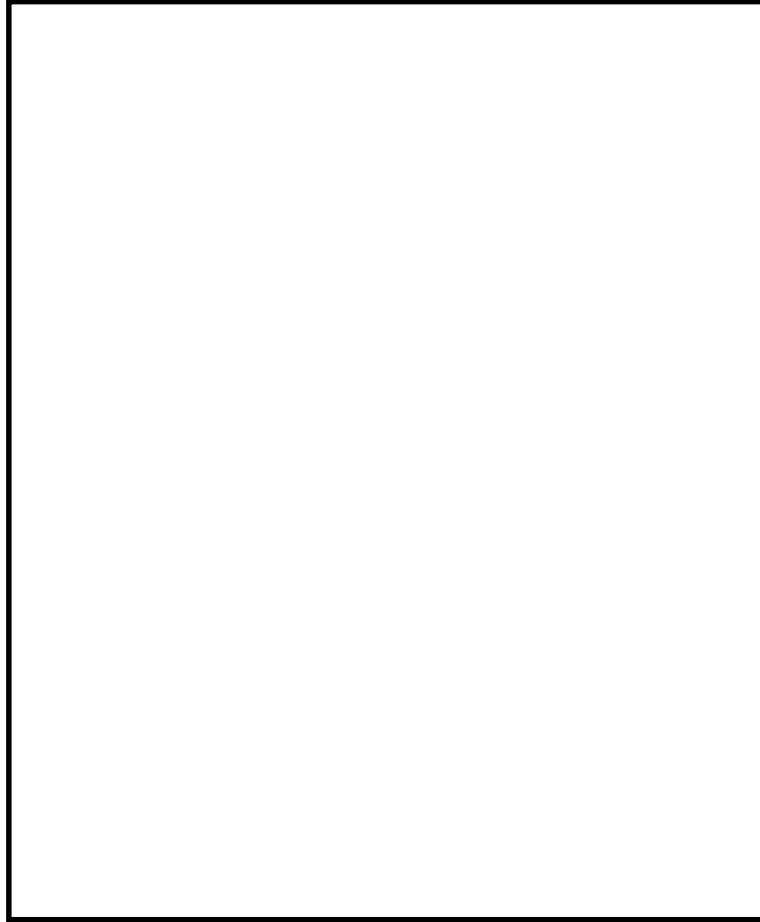


図 5-1 (5) S A用海水ピット取水塔 構造平面図

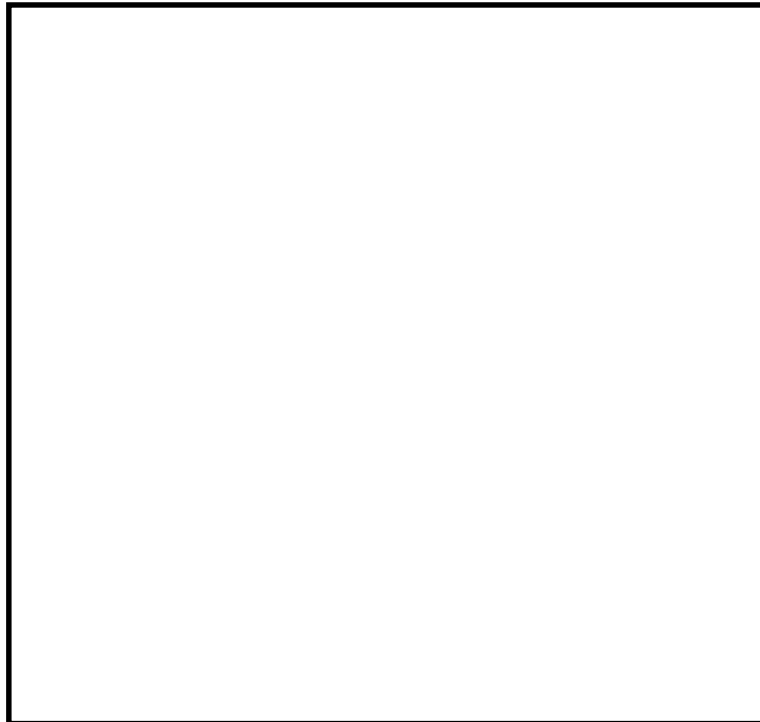


図 5-1 (6) S A用海水ピット取水塔 構造断面図

(2) SA用海水ピット

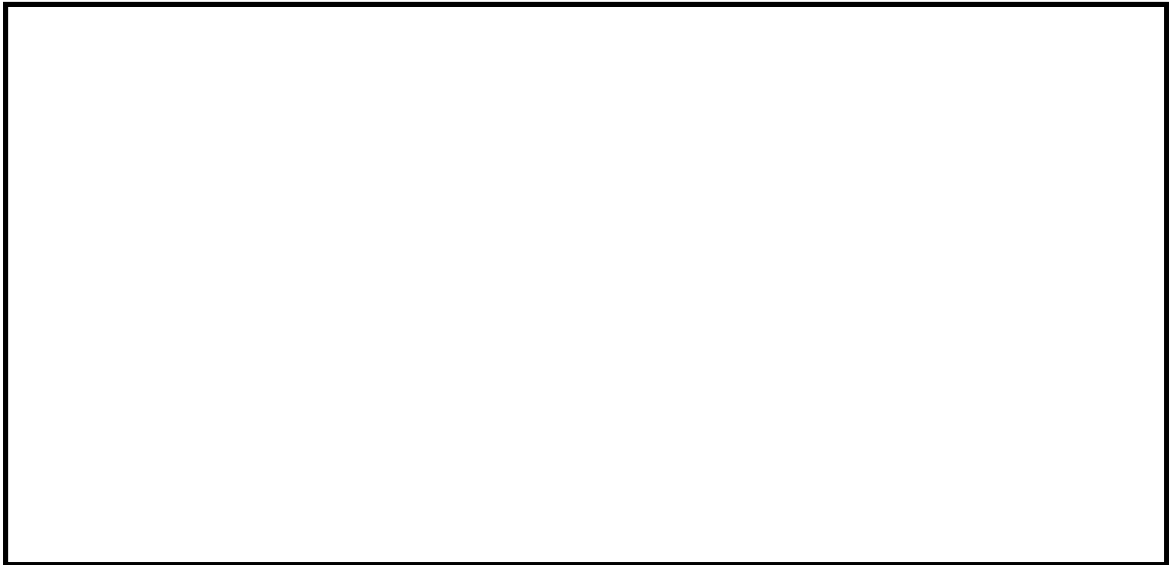


図 5-2 (1) SA用海水ピット 評価対象断面位置図

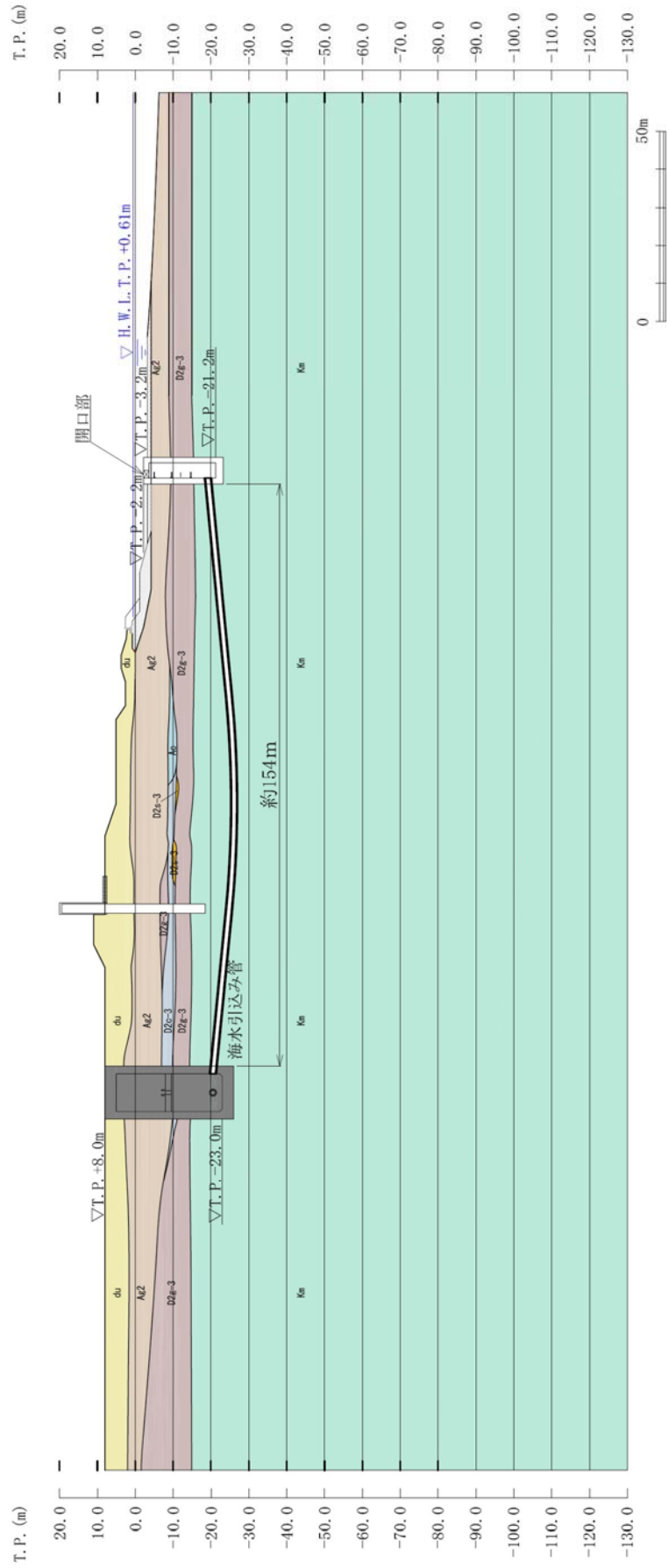


図5-2 (2) SA用海水ピット 評価対象断面図 (①-①断面)

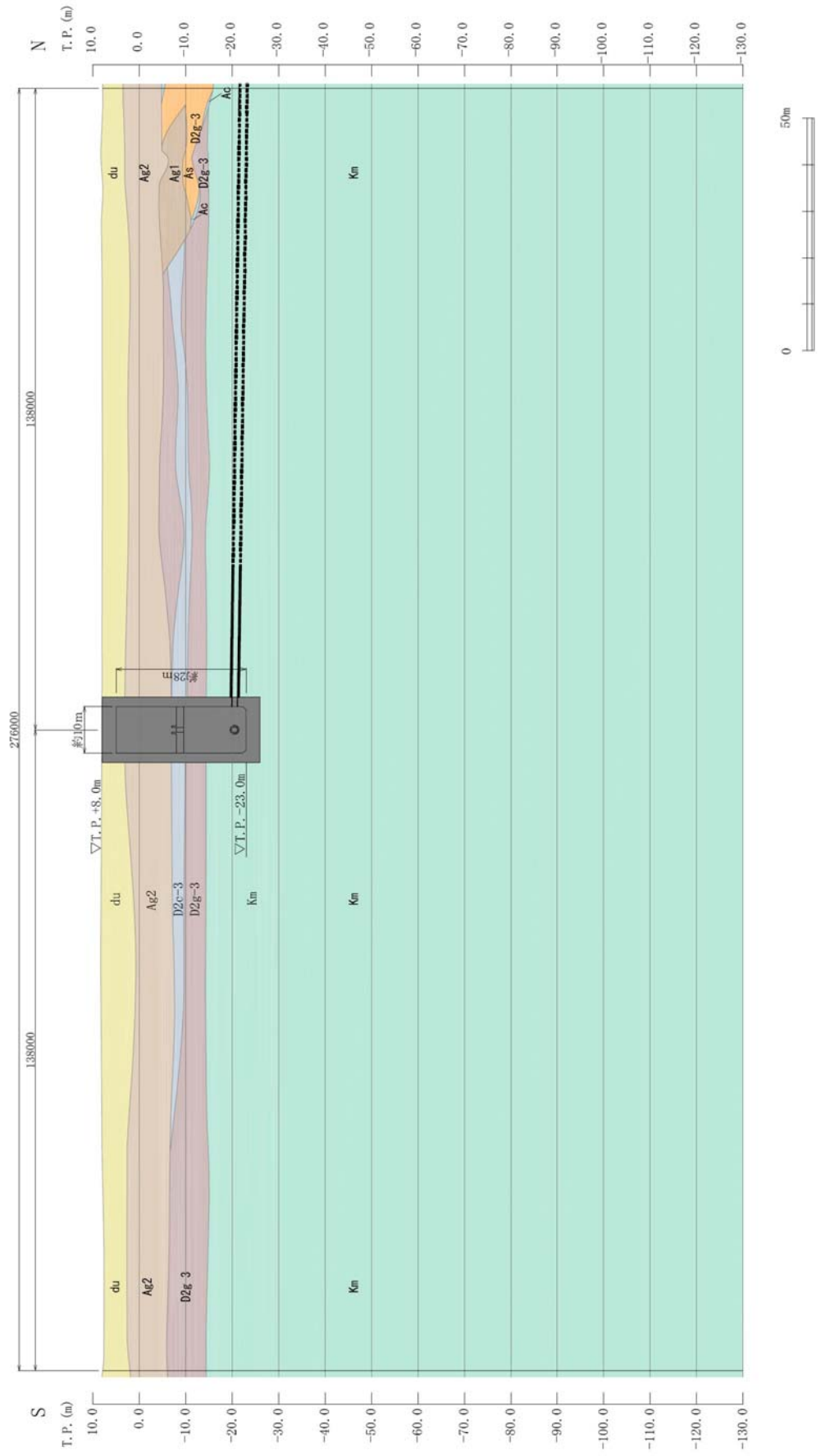


図 5-2 (3) SA用海水ピット 評価対象断面図 (②-②断面)



図 5-2 (4) S A用海水ピット 構造平面図



図 5-2 (5) S A用海水ピット 構造断面図

(3) 代替淡水貯槽

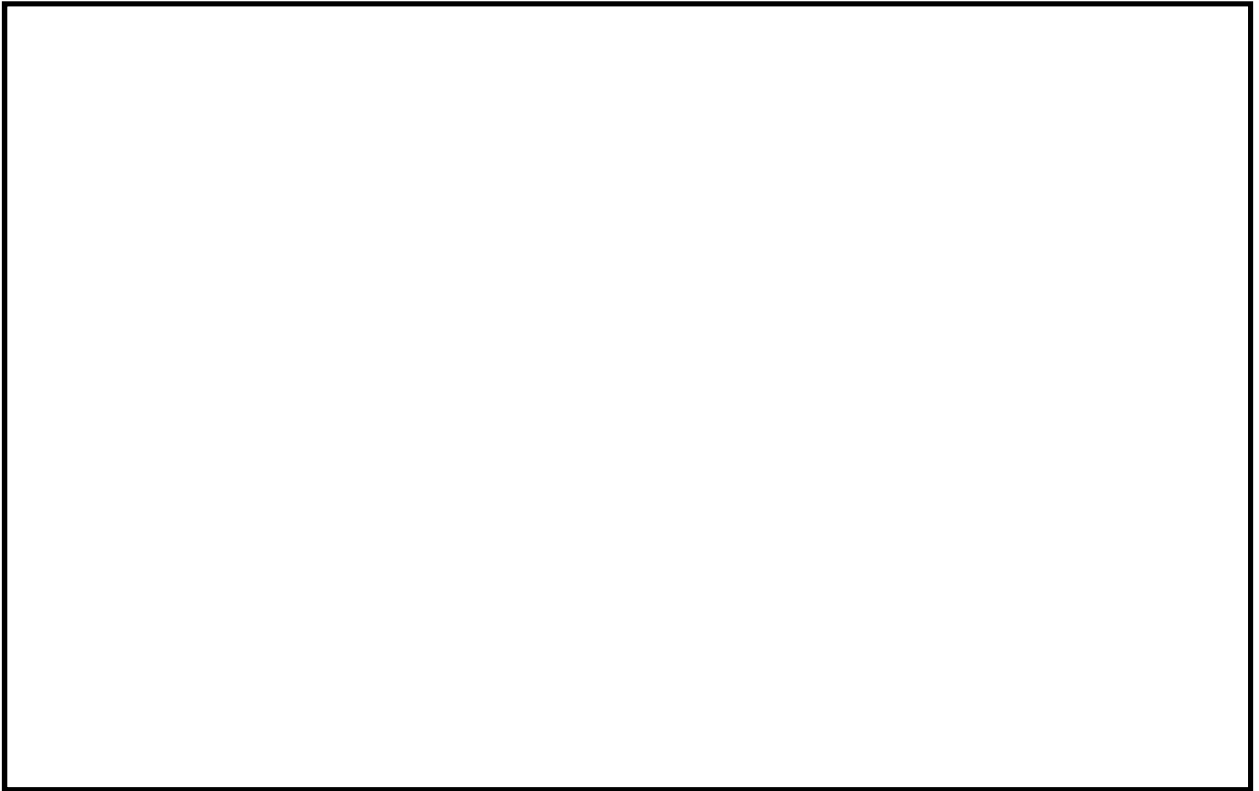


図 5-3 (1) 代替淡水貯槽 平面配置図 (拡大図)

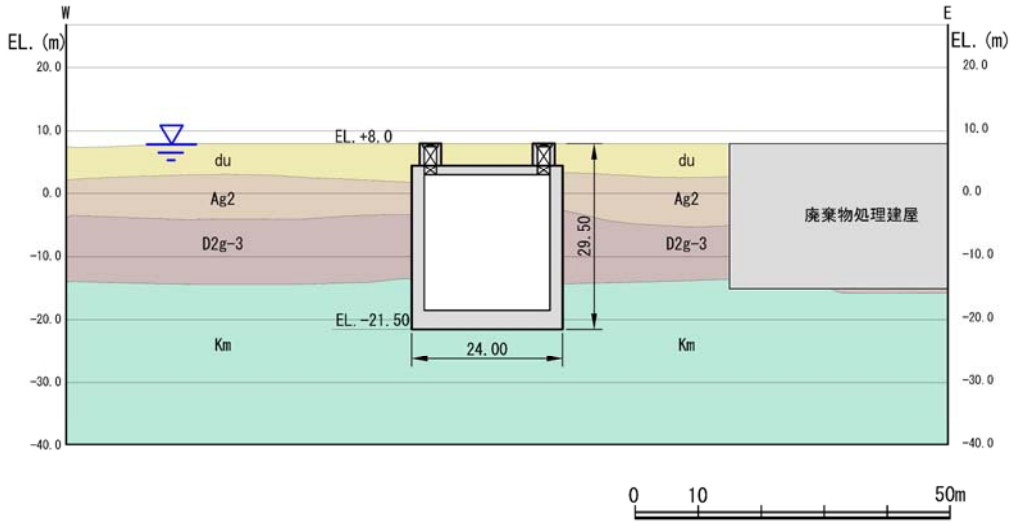


図 5-3 (2) 代替淡水貯槽地質断面図 (A-A 断面)

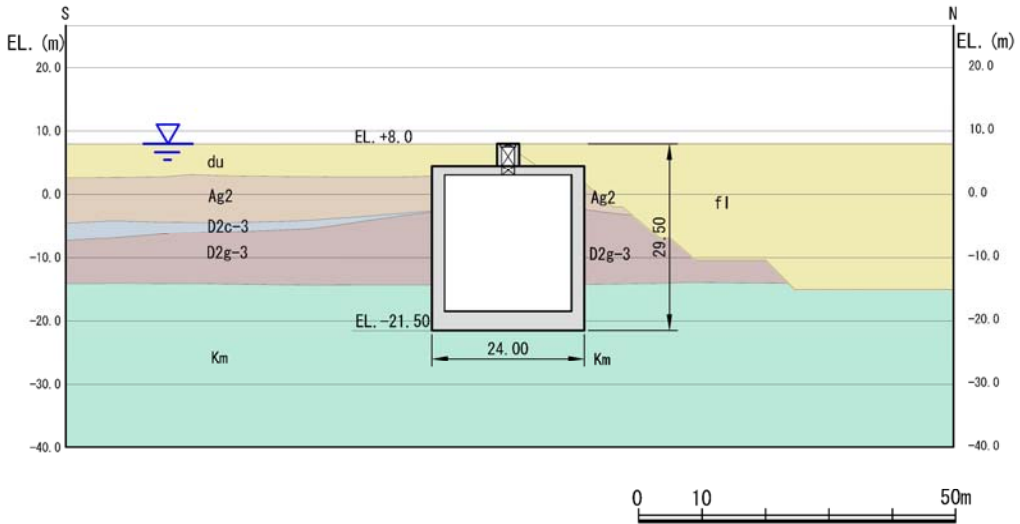


図 5-3 (3) 代替淡水貯槽地質断面図 (B-B 断面)

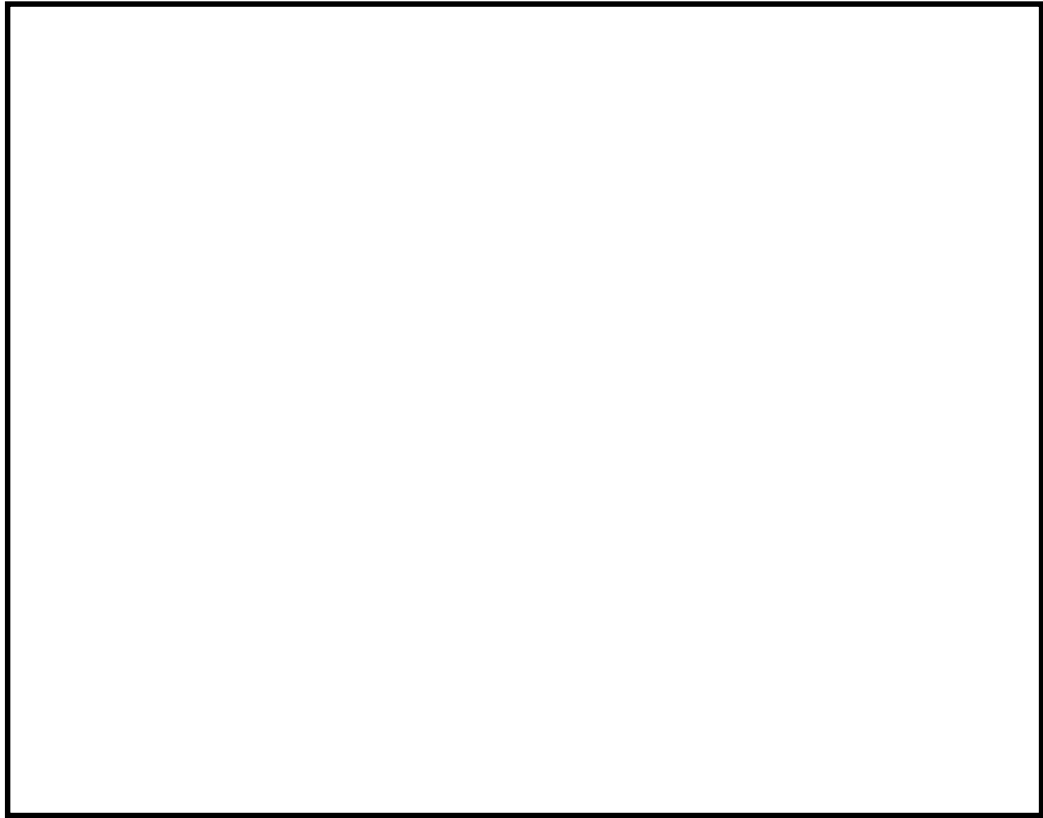


图 5-3 (4) 代替淡水貯槽 平面図

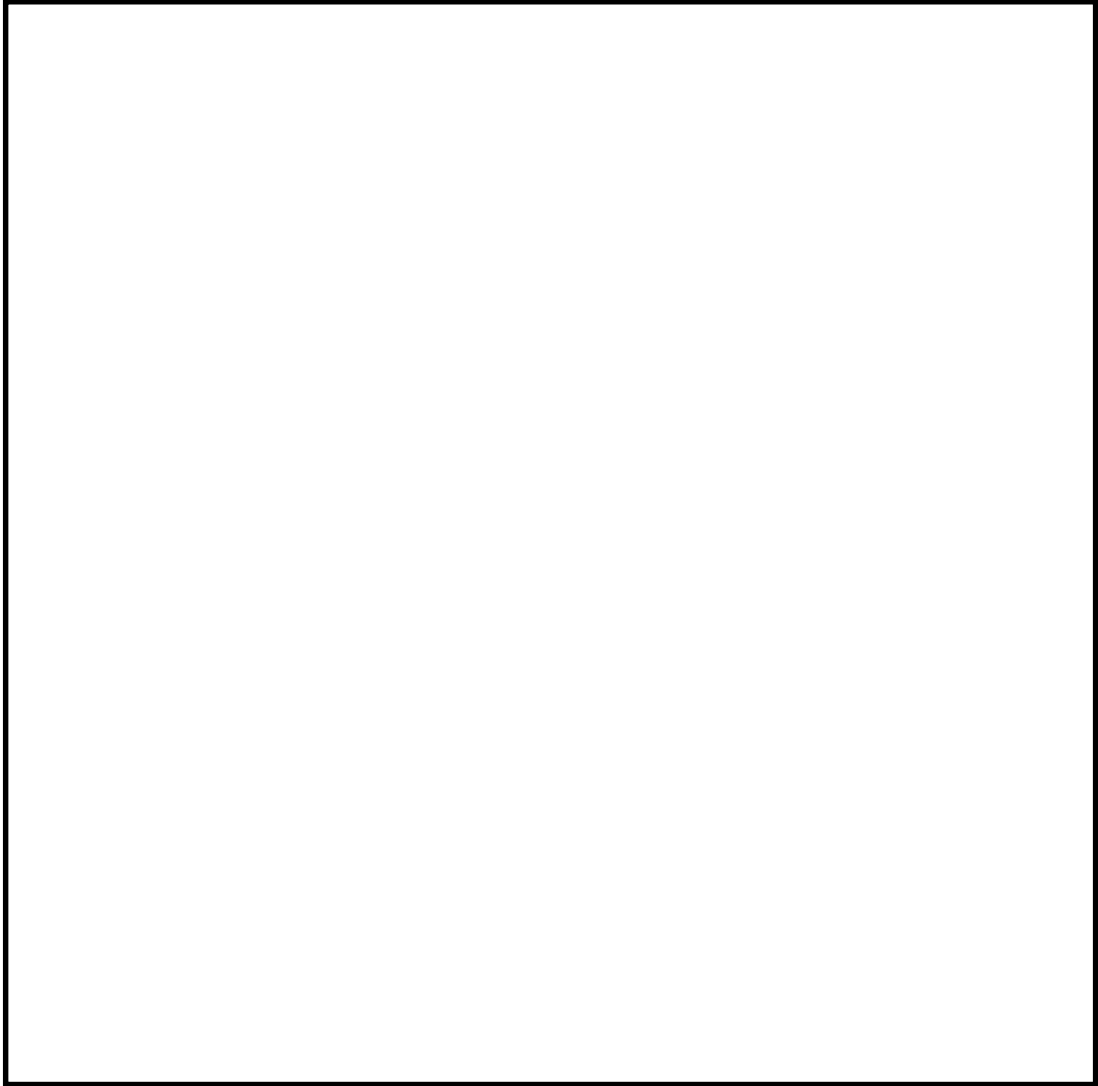


图 5-3 (5) 代替淡水貯槽断面图 (東西方向断面)

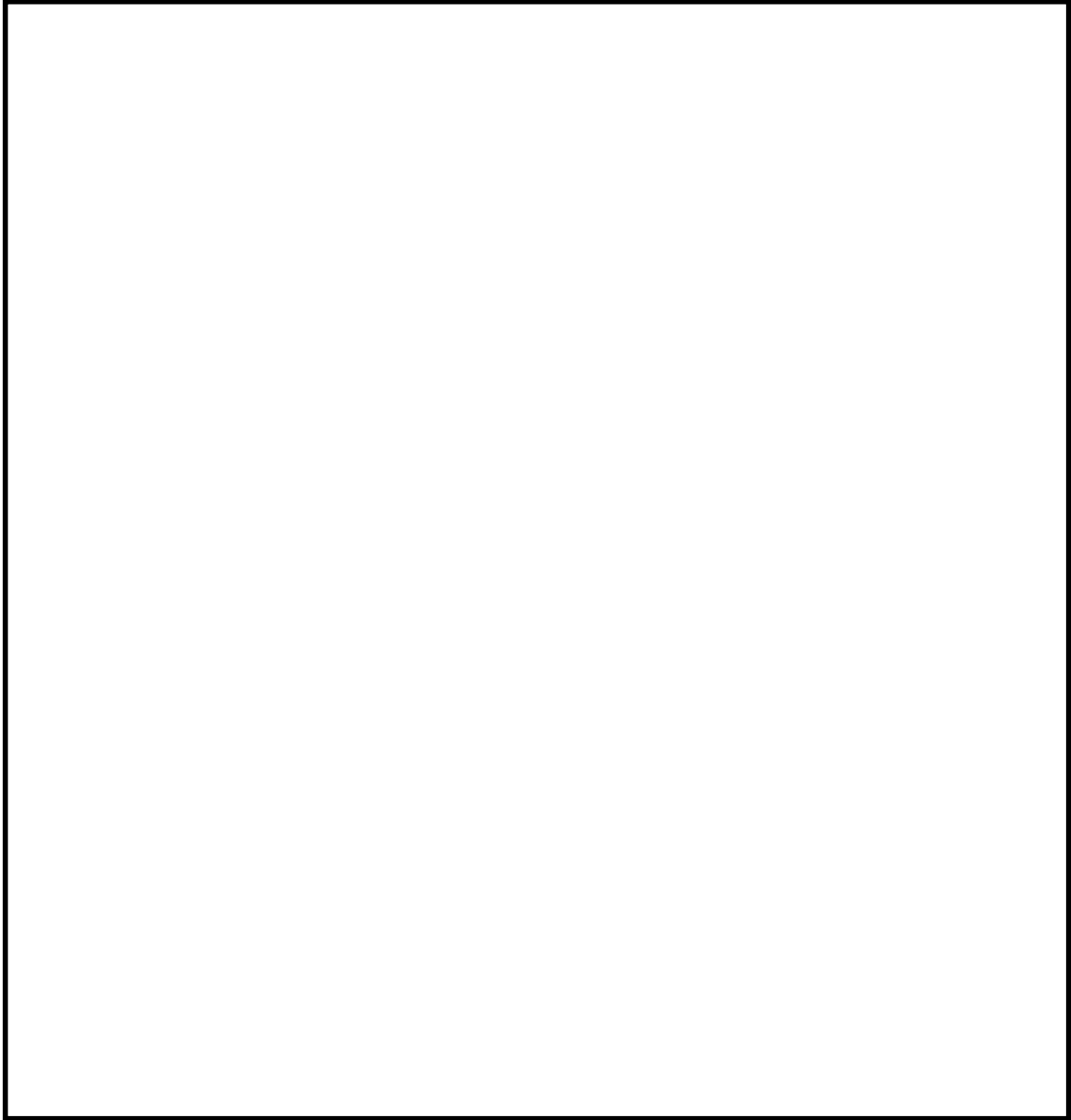


图 5-3 (6) 代替淡水貯槽断面图 (南北方向断面)

6. 矩形の立坑構造図

矩形の立坑構造物は、緊急用海水ポンプピット、常設低圧代替注水系ポンプ室及び常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）がある。

(1) 緊急用海水ポンプピット

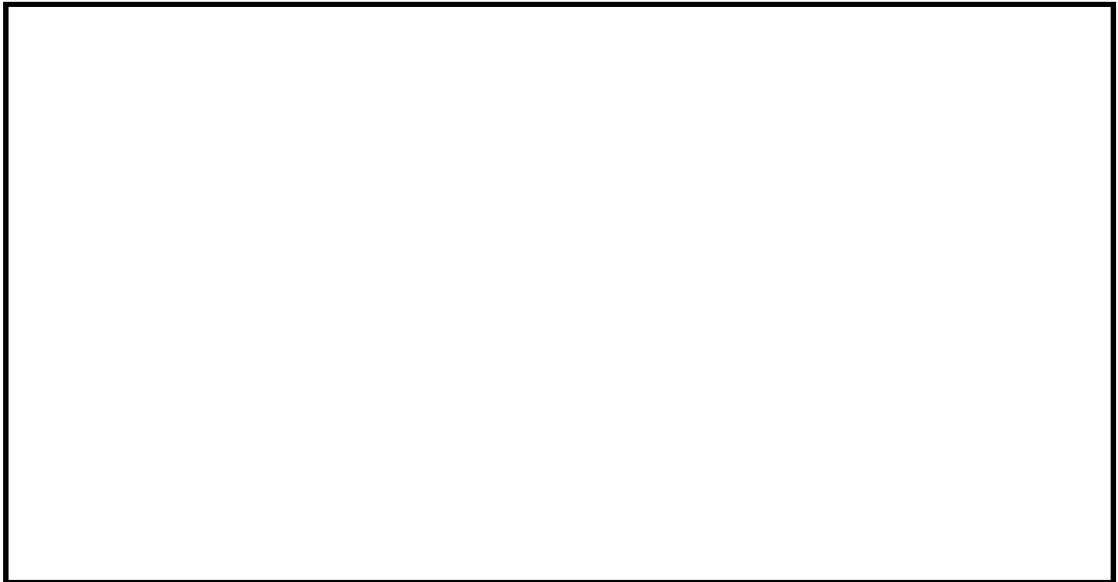


図 6-1 (1) 緊急用海水ポンプピット平面配置図（拡大図）

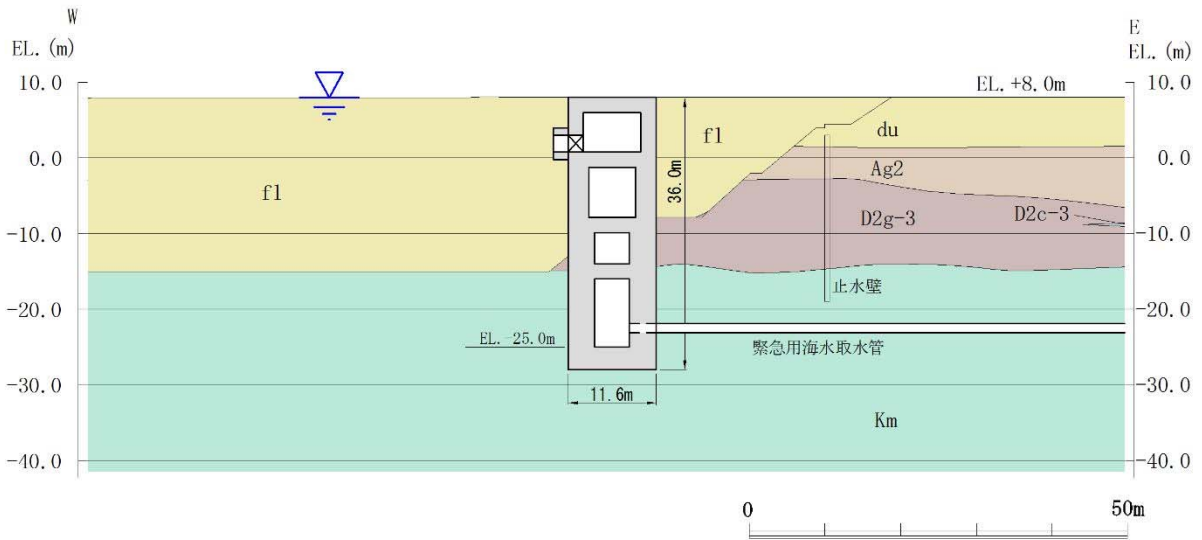


図 6-1 (2) 地質断面図 (東西方向 A-A 断面)

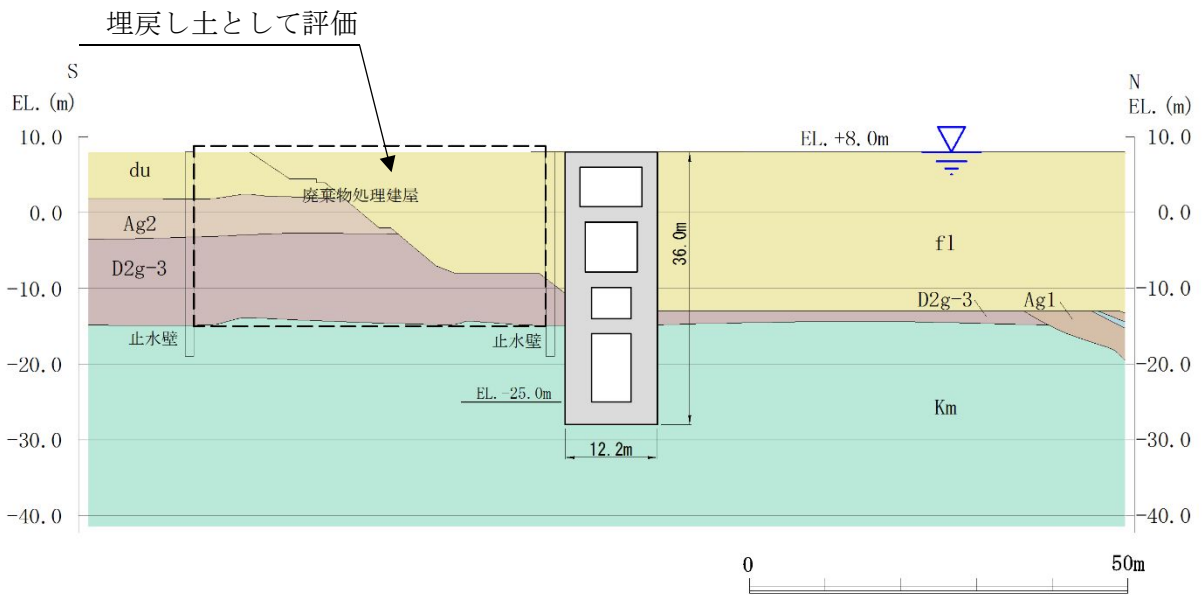


図 6-1 (3) 地質断面図 (南北方向 B-B 断面)

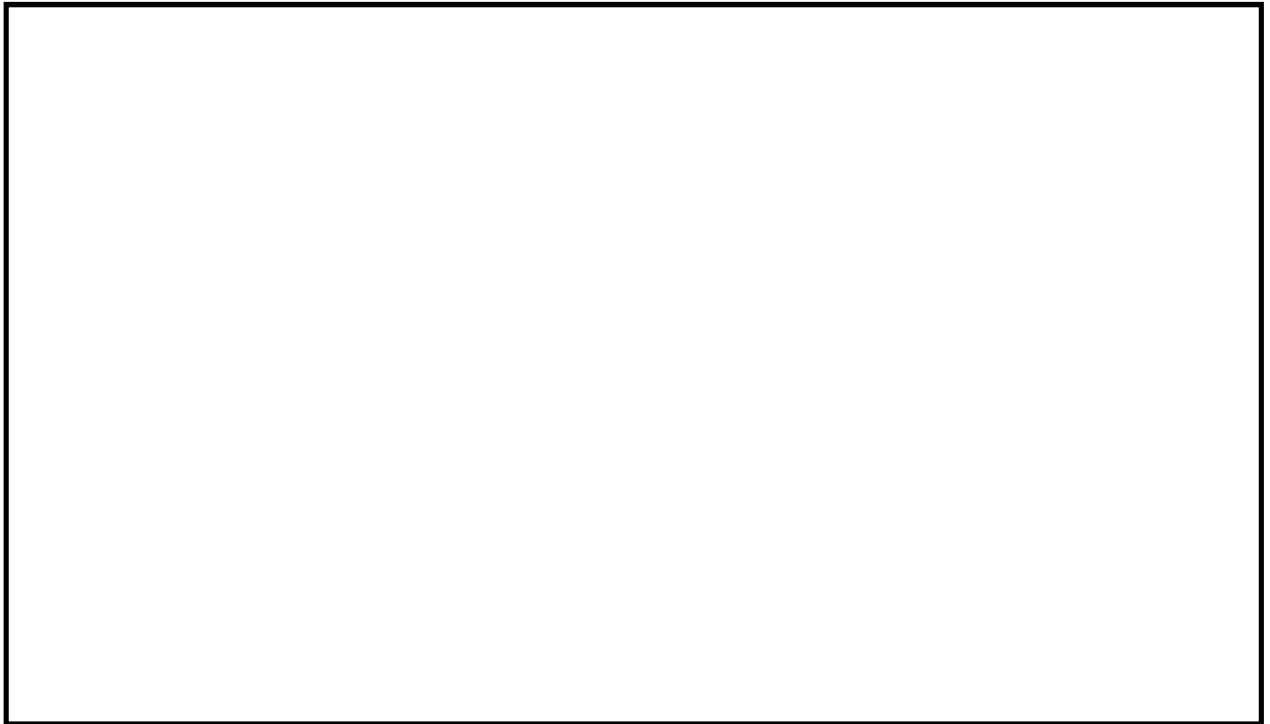


図 6-1 (4) 緊急用海水ポンプピット平面図

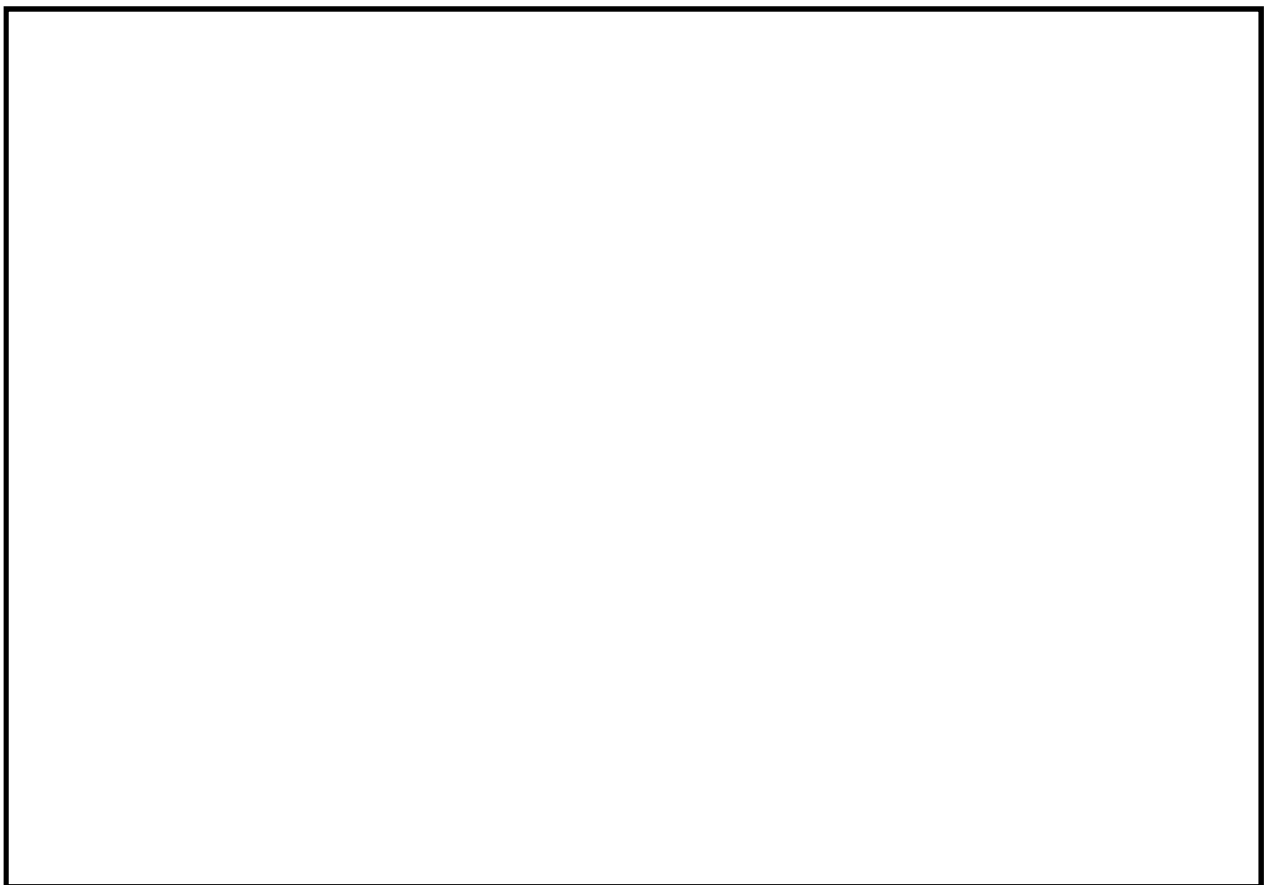


図 6-1 (5) 緊急用海水ポンプピット断面図 (東西方向 ①-①断面)

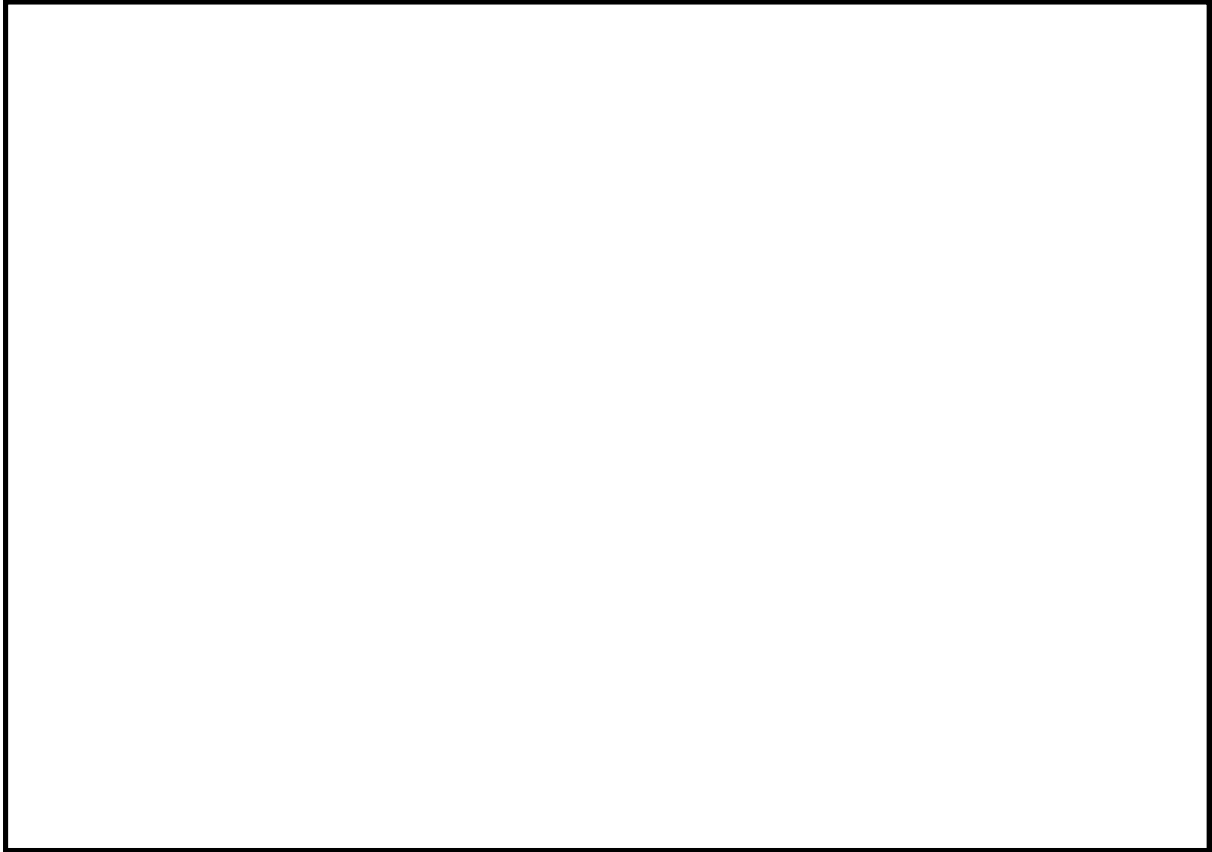


図 6-1 (6) 緊急用海水ポンプピット断面図 (東西方向 ②-②断面)

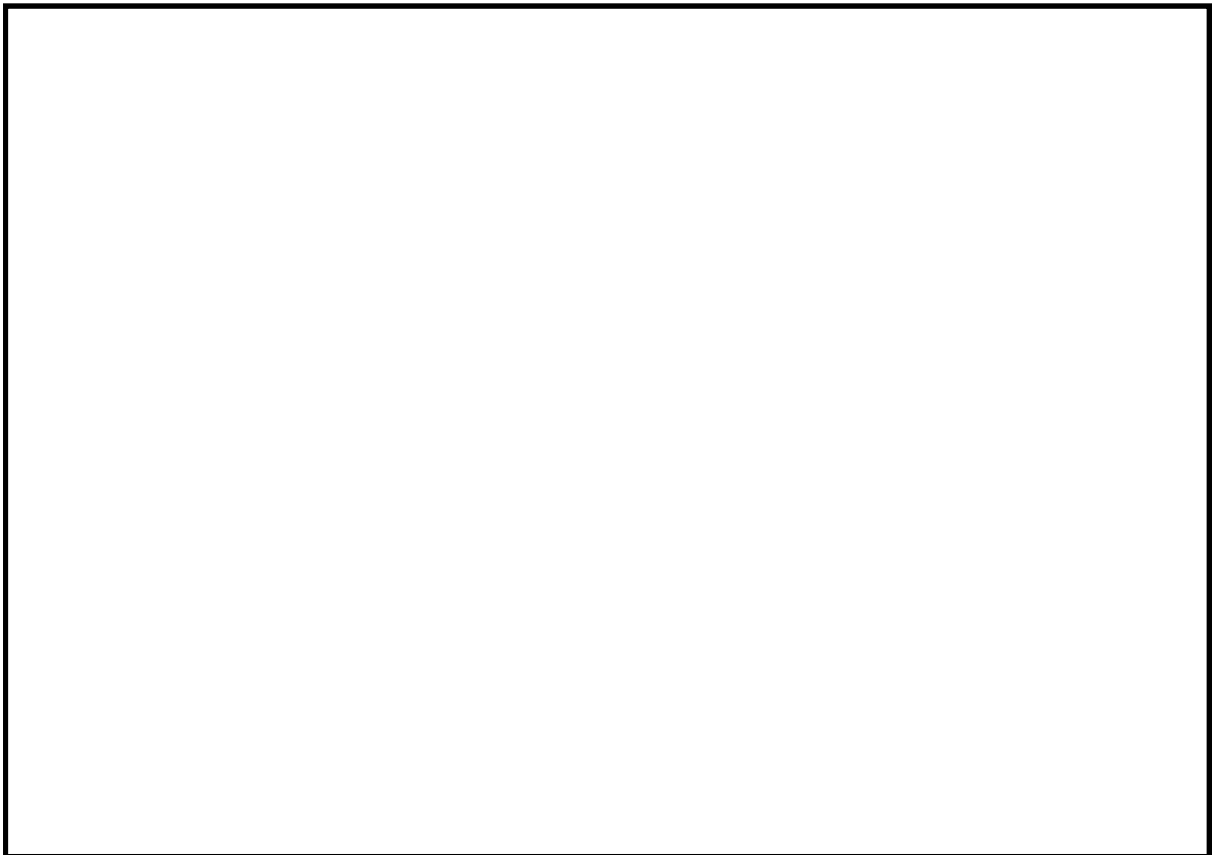


図 6-1 (7) 緊急用海水ポンプピット断面図 (東西方向 ③-③断面)

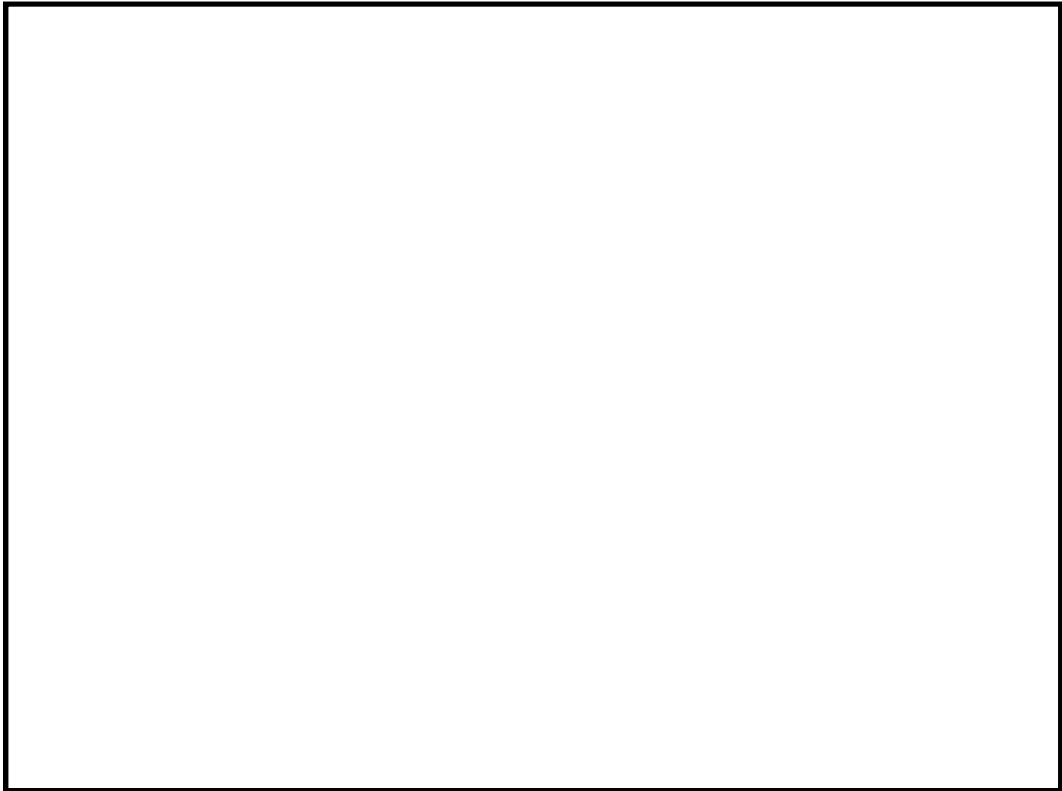


図 6-1 (8) 緊急用海水ポンプピット断面図 (東西方向 ④-④断面)

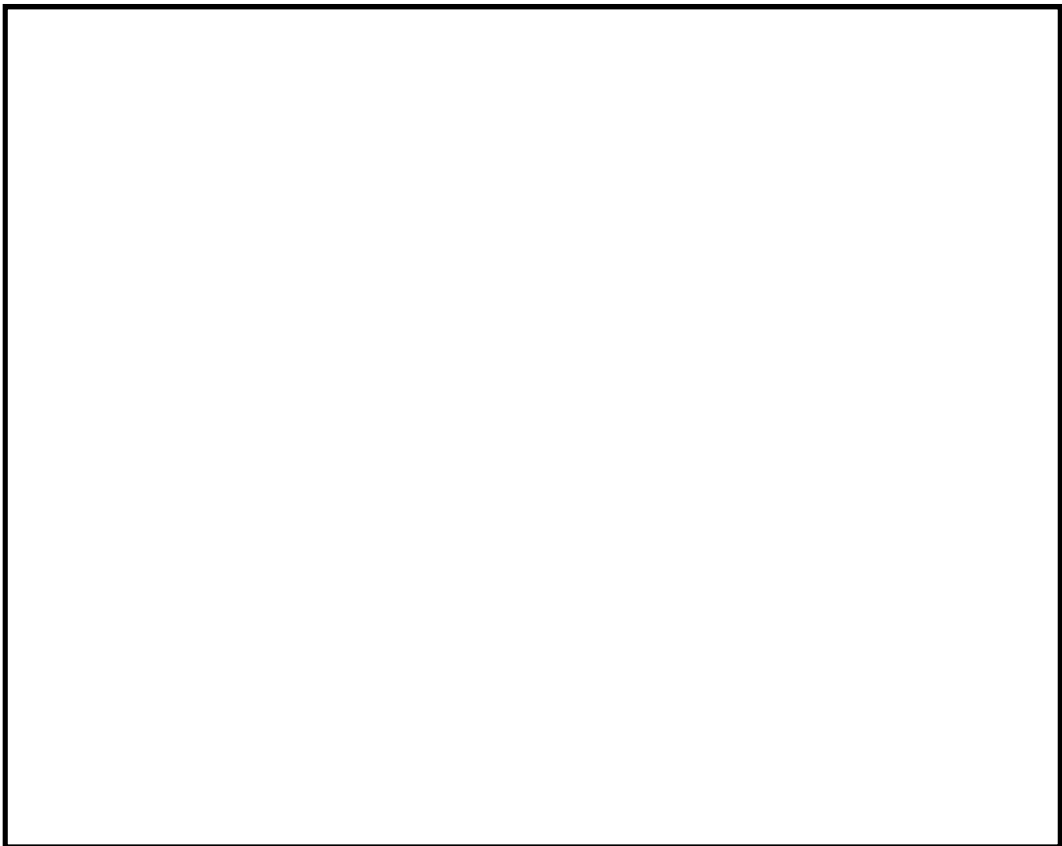


図 6-1 (9) 緊急用海水ポンプピット断面図 (南北方向 ⑤-⑤断面)

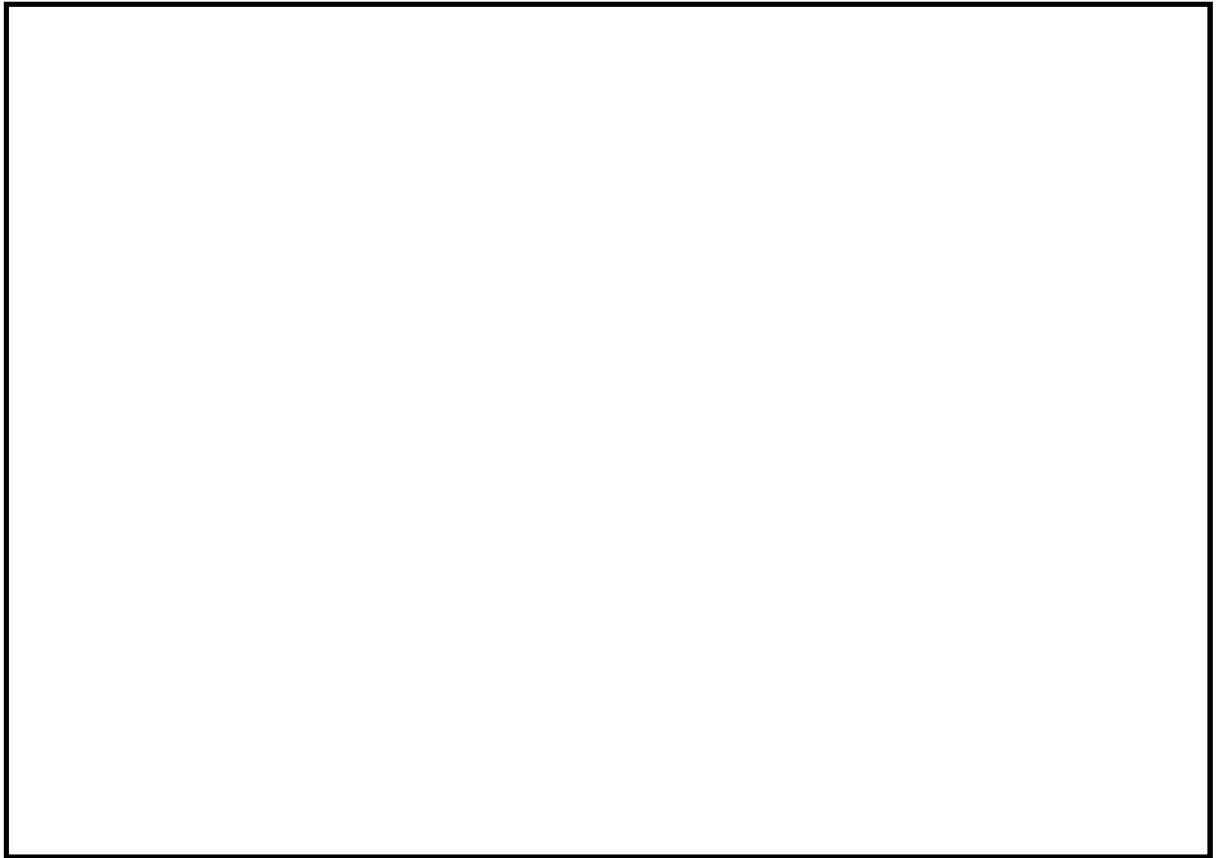


図 6-1 (10) 緊急用海水ポンプピット断面図 (南北方向 ⑥-⑥断面)

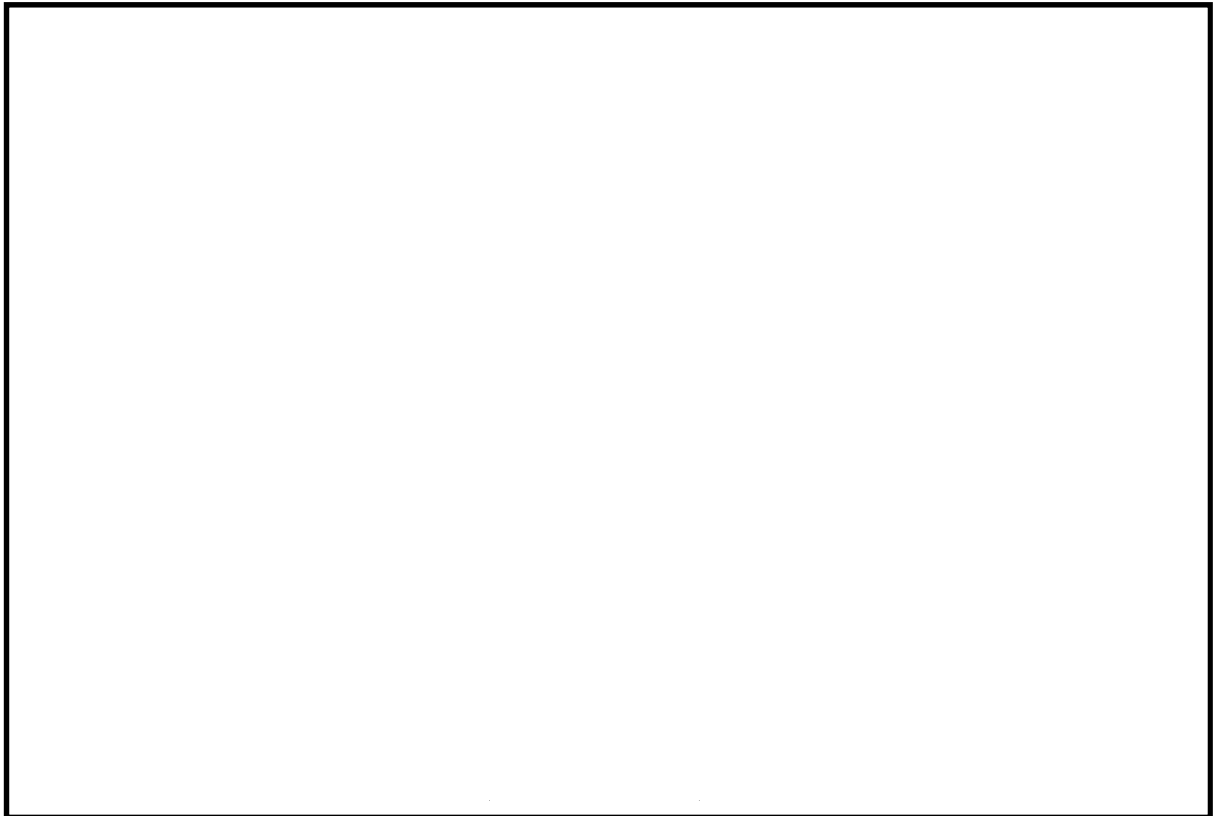


図 6-1 (11) 緊急用海水ポンプピット断面図 (南北方向 ⑦-⑦断面)

(2) 常設低圧代替注水系ポンプ室

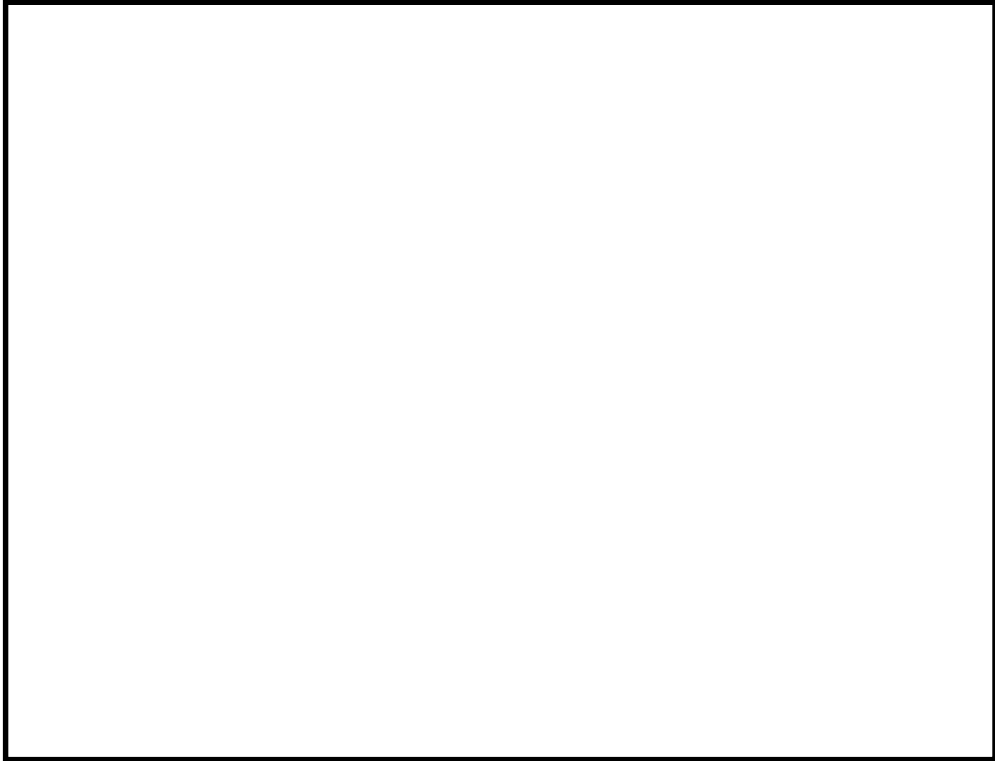


図 6-2 (1) 常設低圧代替注水系ポンプ室平面図

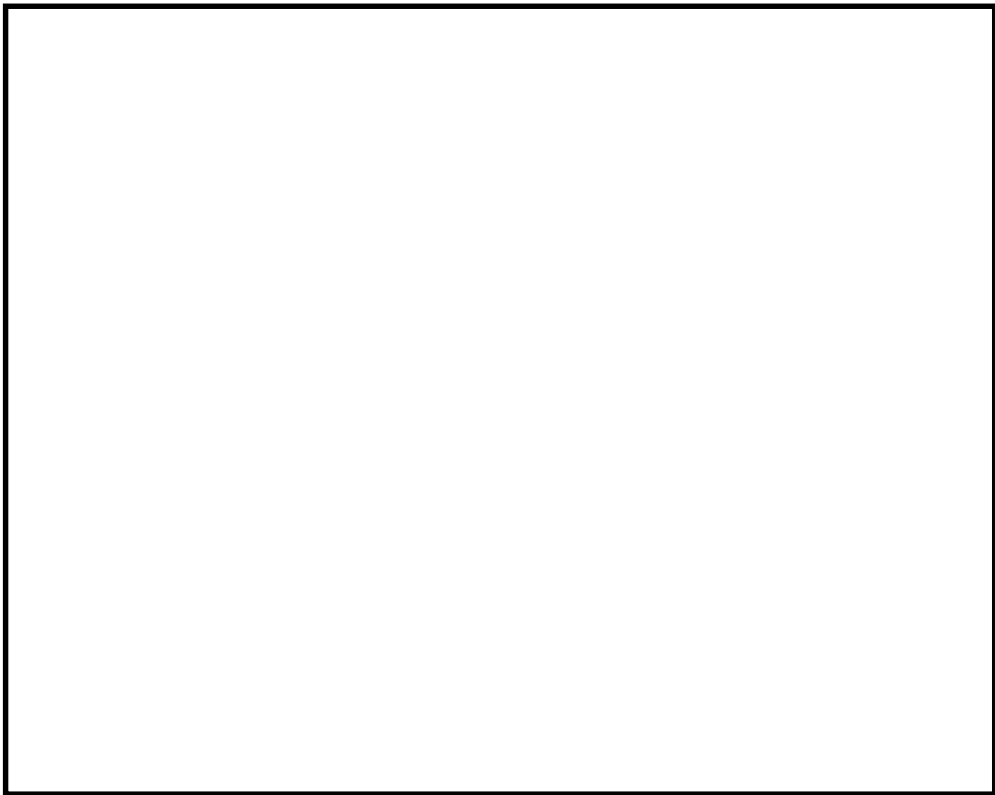


図 6-2 (2) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (東西方向①-①断面)

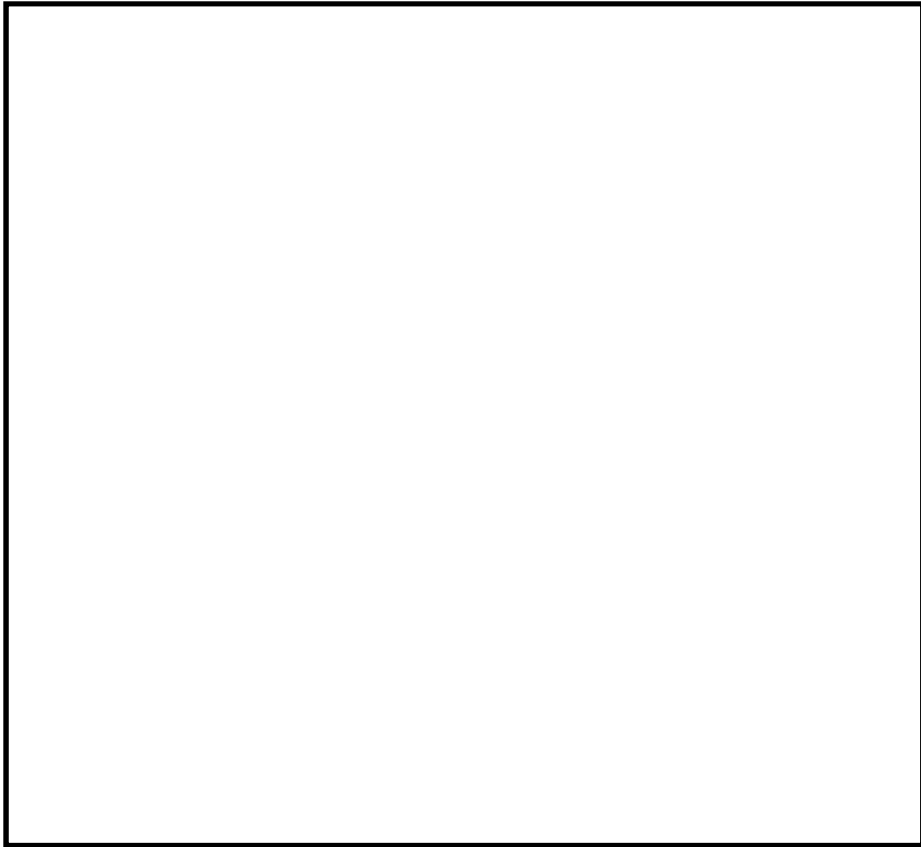


図 6-2 (3) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (東西方向②-②断面)

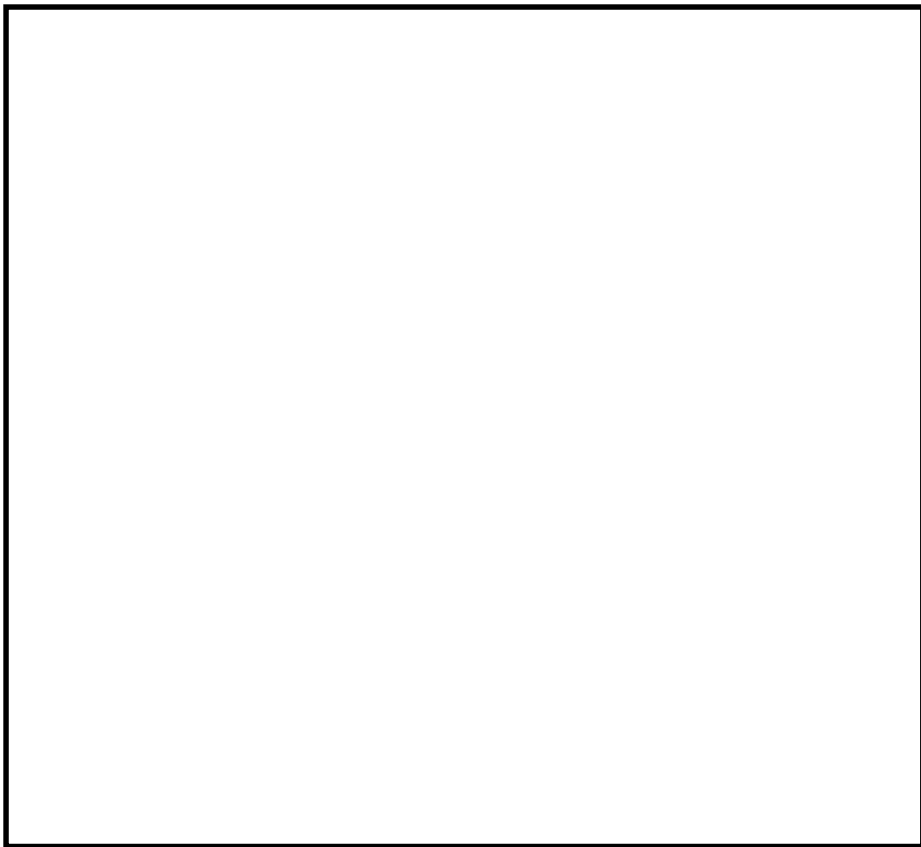


図 6-2 (4) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (東西方向③-③断面)

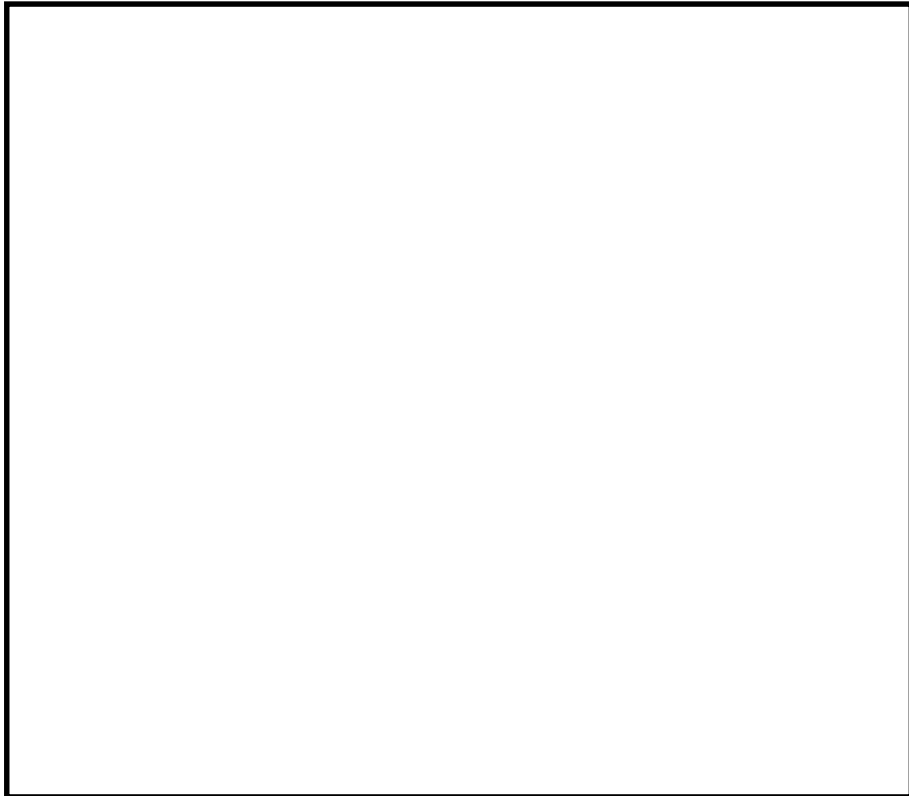


図 6-2 (5) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (南北方向④-④断面)

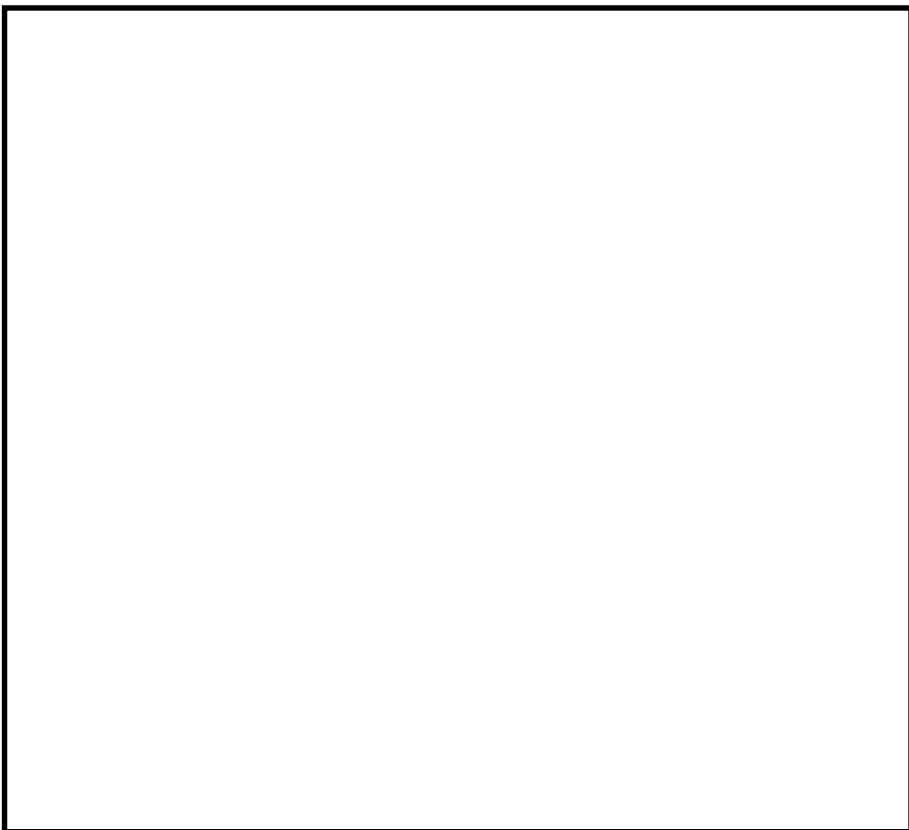


図 6-2 (6) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (南北方向⑤-⑤断面)

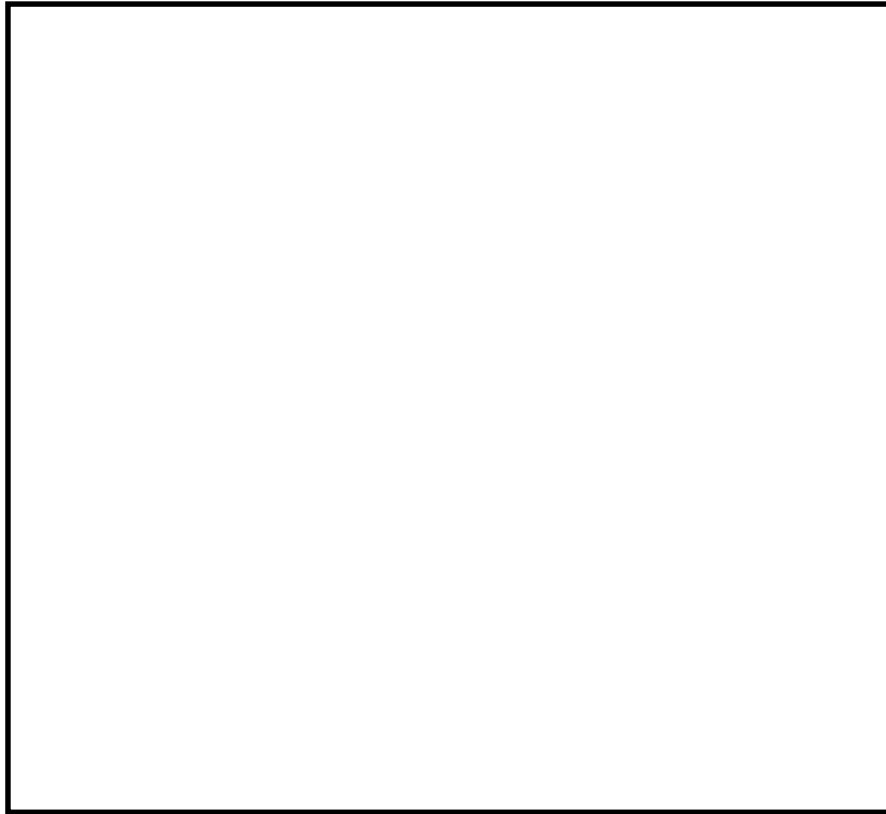


図 6-2 (7) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (南北方向⑥-⑥断面)

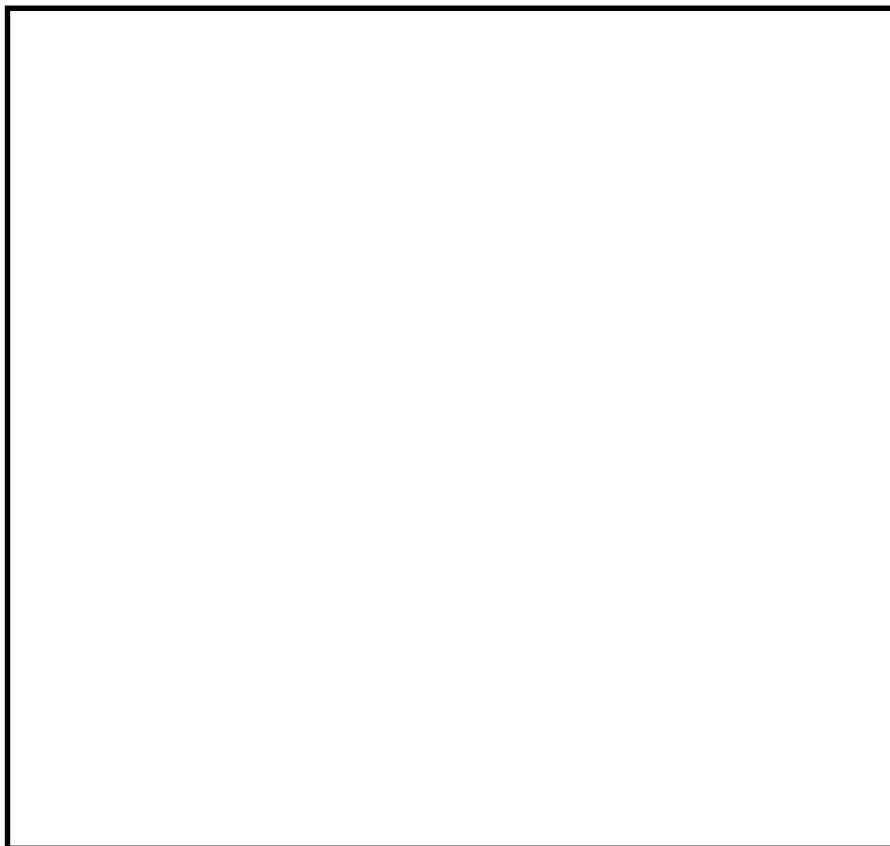


図 6-2 (8) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (南北方向⑦-⑦断面)

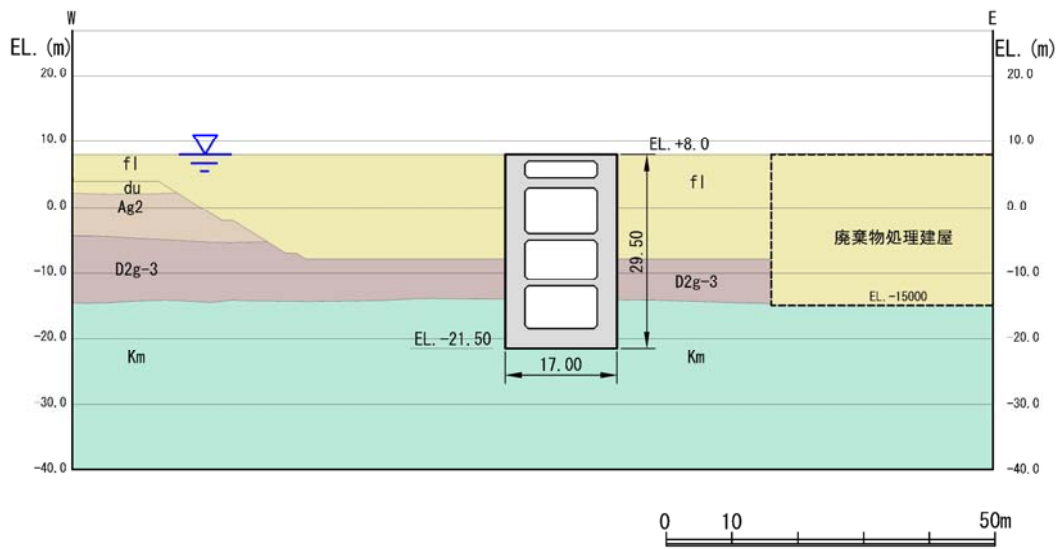


図 6-2 (9) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (東西方向断面)

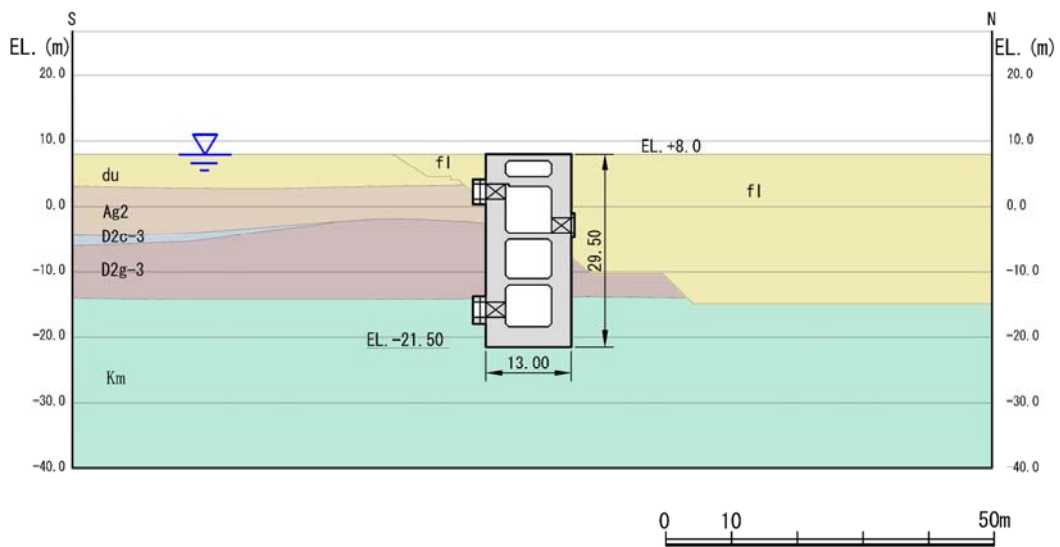


図 6-2 (10) 常設低圧代替注水系ポンプ室評価対象断面図 (南北方向断面)

(3) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）

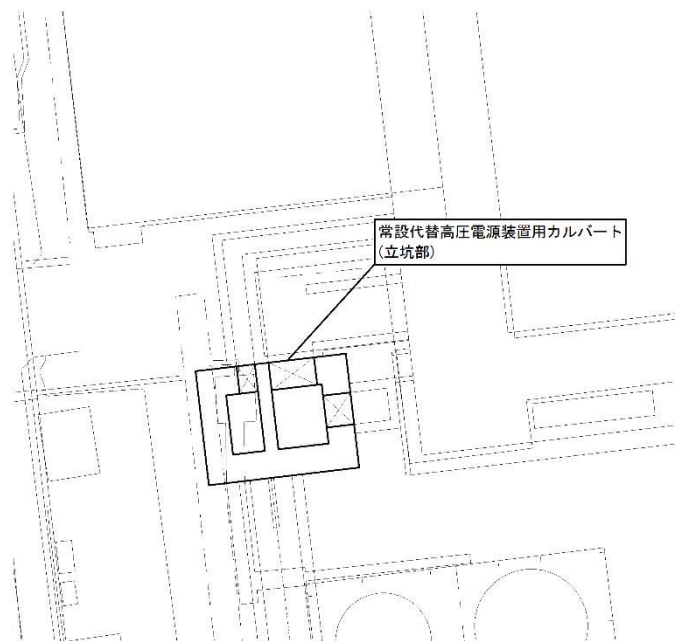


図 6-3 (1) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）平面配置図（拡大図）



図 6-3 (2) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）平面図

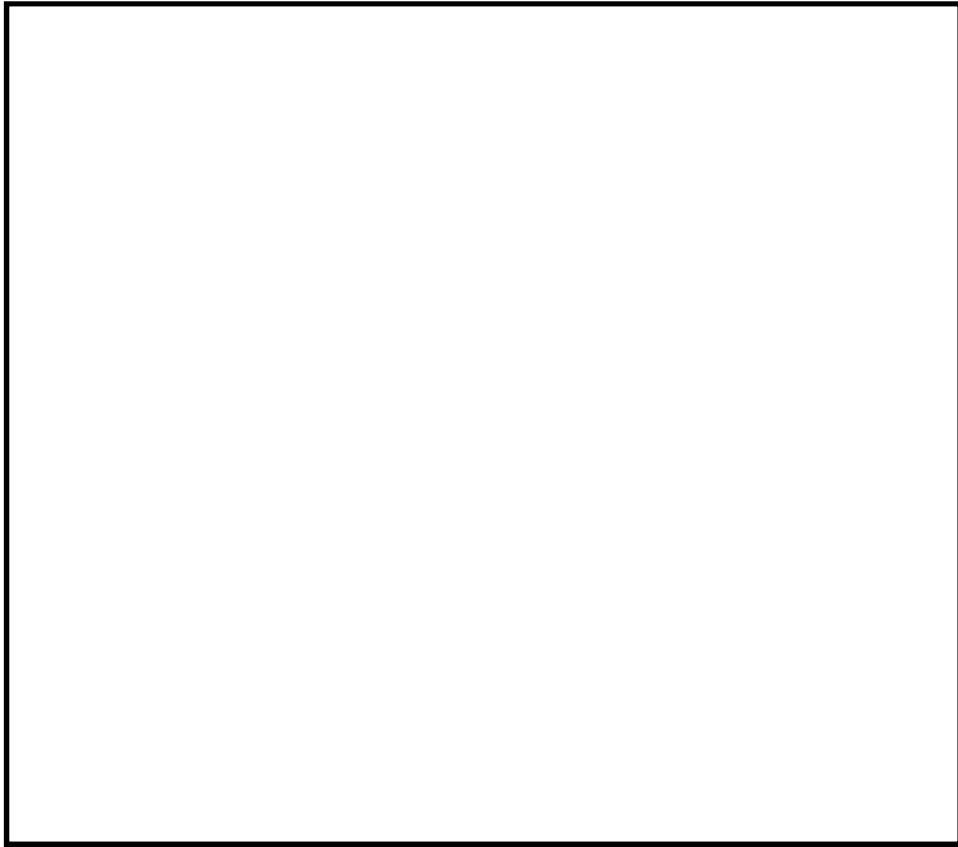


図 6-3 (3) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）断面図（南北方向 ①-①断面）

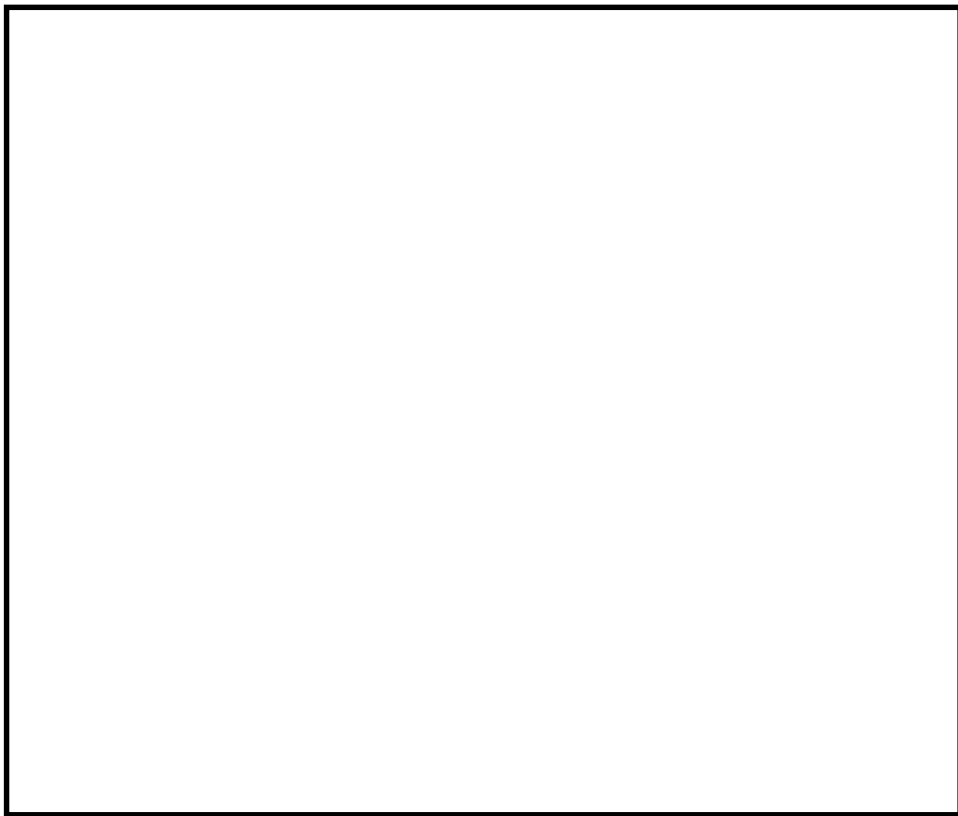


図 6-3 (4) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）断面図（東西方向 ②-②断面）

【参考】 既工認プラントの事例

1.1 玄海3号機 海水管ダクト堅坑

(1) モデル概要

- ・ 構造物：線形はり要素



図 2.1-1 玄海3号機海水管ダクト堅坑モデル図

(2) 設計方針

- ・ 鉛直方向

曲げに対して躯体の全断面積を考慮した断面性能（有効高さ），せん断に対して加振方向に平行に配置される壁部材にて受け持つ設計とする。

- ・ 水平方向

地震応答解析により得られる荷重を用いた3次元応力解析により断面力を算定する。

(3) 適用基準類

- ・ 荷重及び荷重の組合せ：コンクリート標準示方書 2002 年
- ・ 許容限界：コンクリート標準示方書，原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル 2005 年
- ・ 地震応答解析：J E A G 4 6 0 1-1987

1.2 高浜1, 2号 海水ポンプ室側立坑

(1) モデル概要

- ・ 構造物：円筒状立坑。立坑は線形の鉛直はり要素としてモデル化し，立坑高さ方向の形状（一般部，開口部，底版）に応じた断面諸量（A, I）を入力。地盤は平面ひずみ要素としてモデル化。
- ・ 構造寸法：内径 7m, 外径 11m, 高さ 46m

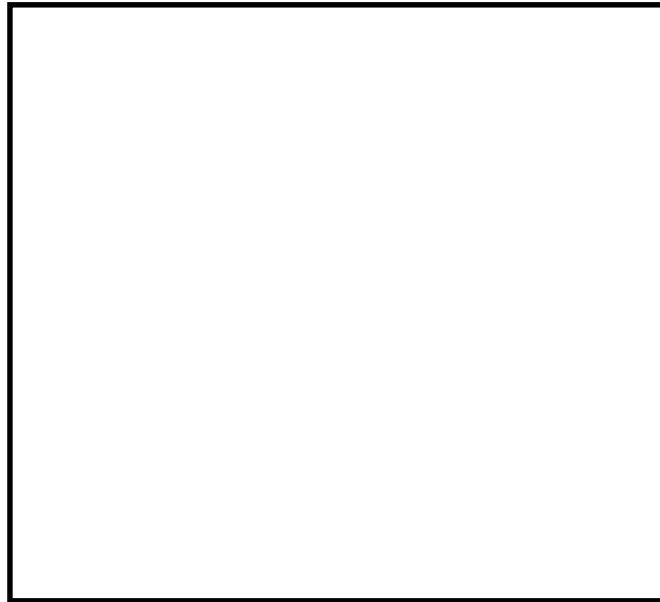


図 2.2-1 高浜1, 2号海水ポンプ室側立坑モデル図

(2) 設計方針

- ・ 海水ポンプ室側立坑部とトンネル部を一体化せず，立坑の構造のみで開口の影響を考慮した評価を行う。底版は，両端固定梁でモデル化し，二次元動的解析における底版下面のジョイント要素に発生する鉛直方向地盤反力を作用させ評価する。

(3) 適用基準類

- ・ コンクリート標準示方書 2002 年
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル 2005 年
- ・ J E A G 4 6 0 1-1987