

図 3-8 排水管の道路交差点

3-2-2-5 排水機場構造物計画

(1) 土木工事の設計条件

1) 改修形式

現地状況、資料調査結果等を踏まえ、排水機場改築の基本形式について図 3-9 に示す「地上配管方式」及び「樋管方式」について比較した結果、沈下に対する対応性、施工性、経済性等に優れる「地上配管方式」を採用する。

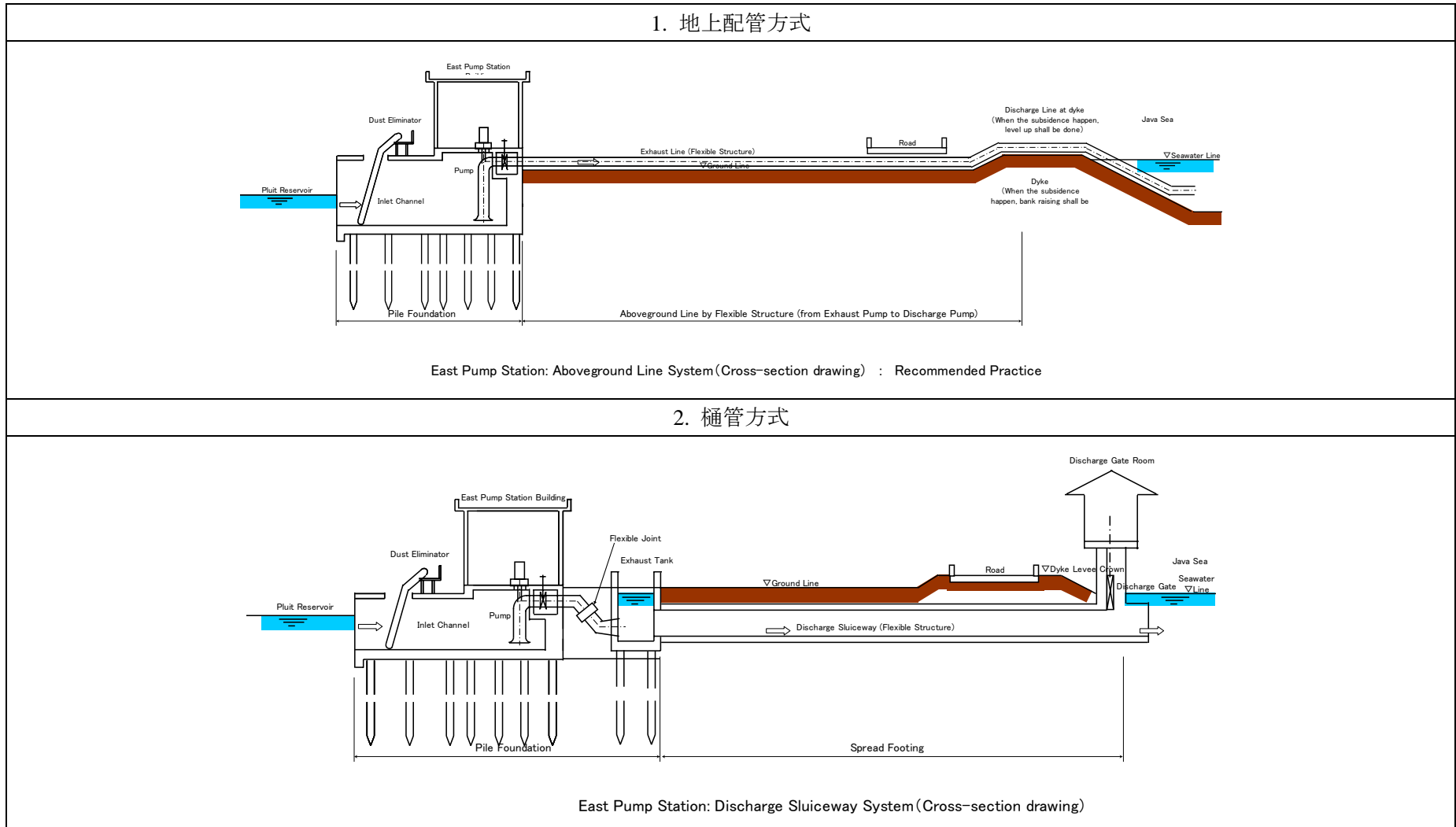


図 3-9 施設の現状及び新設排水機場構造形式の検討案

2) 施設配置

新設排水機場の建設位置について治水性、施工性、経済性等に関する総合比較を行った結果、下記の理由から「Plan-2 現 東排水機場位置」とする。図 3-10 に示すとおり、既設機場の底版下面是、パイピングによる空洞が存在することからコンクリート躯体の撤去と同時に建設後の水みちとならないよう適切な空洞の処置が必要となる。



図 3-10 パイピング状況

このため、図 3-11 に示すような既設位置を避けた位置を選定した場合には新設のための土留工を既設躯体まで拡大して施工する必要があり、同位置に建設する場合に比べてその分の工事費が高くなる。

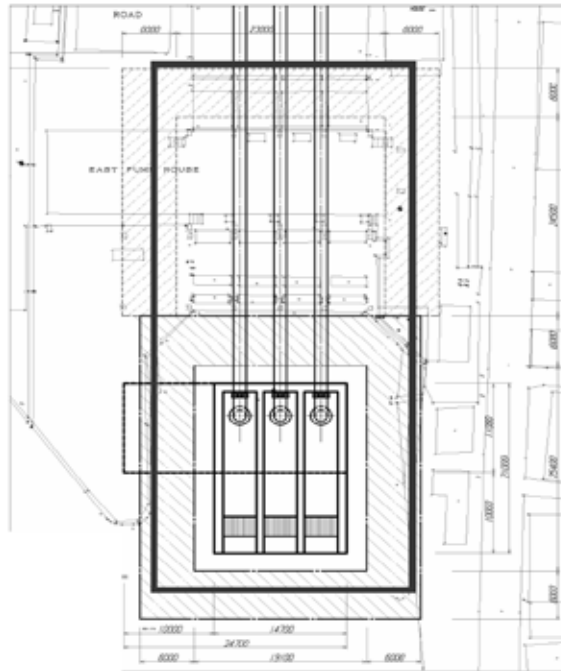


図 3-11 Plan-1 現 東排水機场上流の場合に必要な土留め工範囲

図 3-12 に示すとおり、既設排水路の左岸に隣接して中央と東排水機場と共用する電気室があり、この施設の移設を伴う場合には工期面でも工事費面でも不利となる。

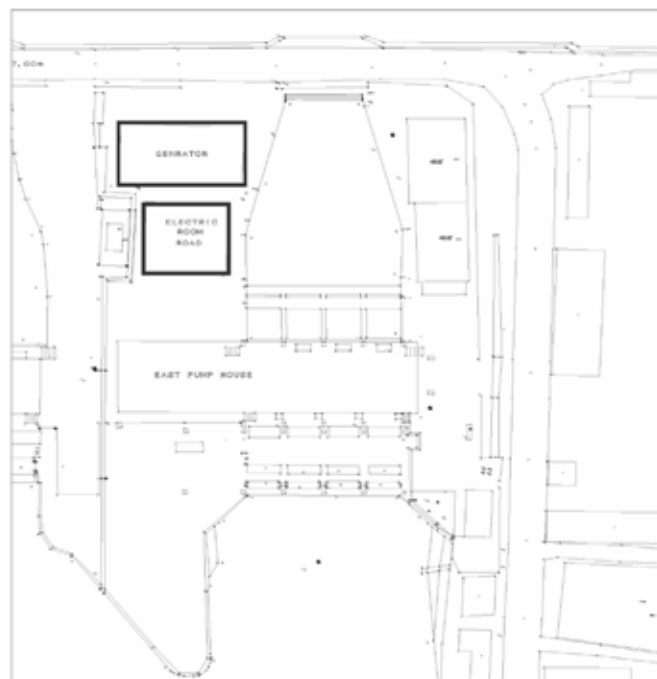


図 3-12 共用電気室の位置

排水機場縦断方向の土層断面を図 3-13 に示すが、施設位置により支持層（砂層 S3）の深さの違いは無いことから、基礎杭の経済性は各案同等と評価される。

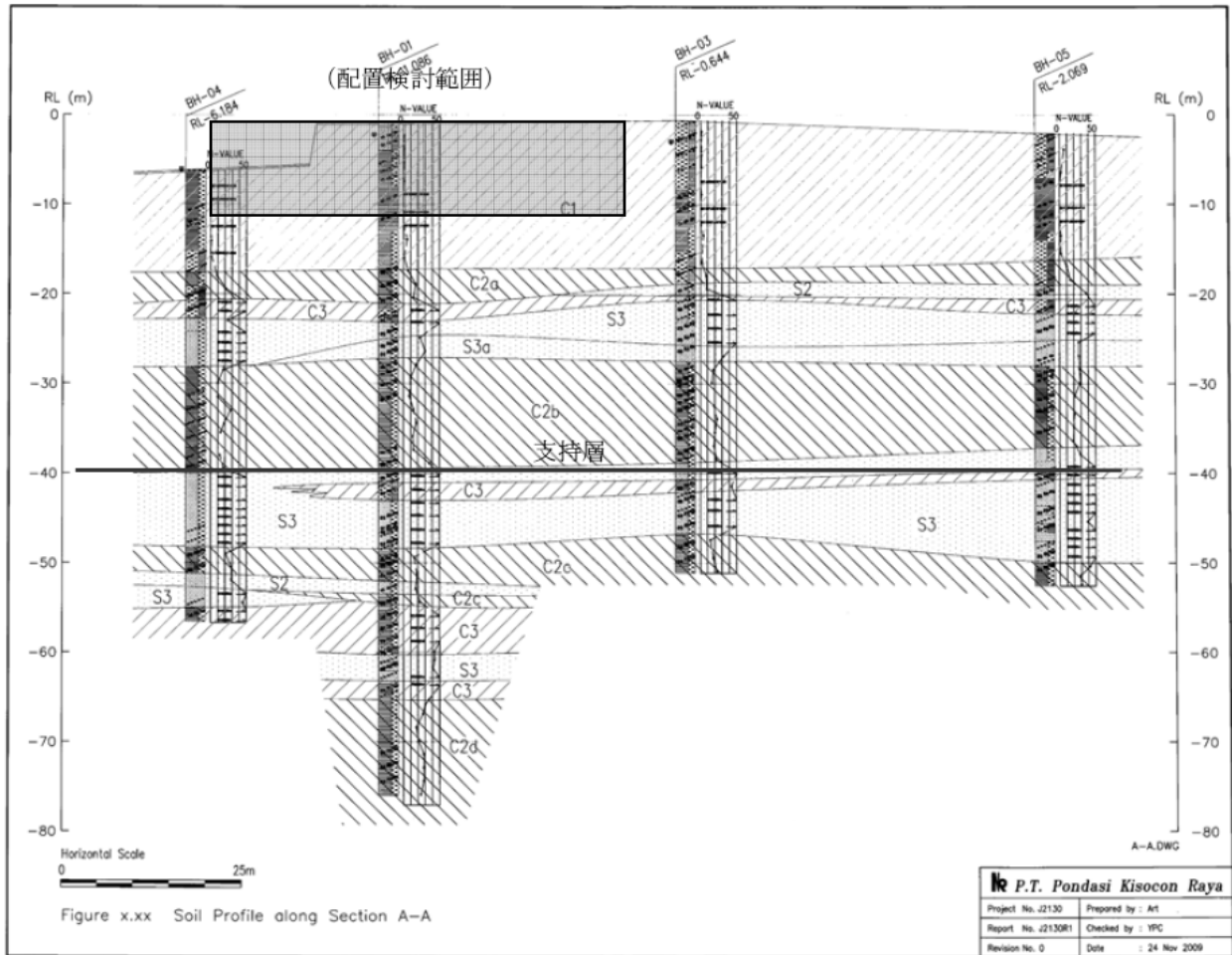


図 3-13 推定土層断面図（排水機場縦断方向）

機場配置比較表を表 3-7 に示す。また、機場配置図を図 3-14～図 3-16 に示す。

表 3-7 機場配置比較表

注) 青文字は長所、赤文字は短所を示す。

計画案	Plan-1 現 東排水機场上流	Plan-2 現 東排水機場位置	Plan-3 現 東排水機場下流
概略図			
説明	<ul style="list-style-type: none"> 既設東ポンプ場の上流、流入水路内に新たにスペースをとり新設排水機場を配置する案。新機場の吐出配管は地盤レベルまで埋戻した既設の機場と吐出水槽の上に地上配管し延長 95m となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設東排水機場を撤去した跡地の同じ位置に新設排水機場を配置する案。 新機場の吐出配管は地盤レベルまで埋戻した既設の吐出水槽の上に地上配管し 65m となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設東ポンプ場の上流の吐出水槽を撤去した跡地に新設排水機場を配置する案。 新機場の吐出配管は地盤レベルまで埋戻した既設の吐出水槽の上に地上配管し約 35m となる。
治水性	<ul style="list-style-type: none"> 新設機場は既設の流入側を閉塞することから工事中の排水運転は不可。(代替排水が必要) 現在復旧中である既設能力相当の仮設ポンプを別系統で設置し、現況程度の治水安全度を確保する。 既設機場の吸水槽を現位置に存置することとなるため、パイピングによる底版下の空洞の放置により将来的に周辺地盤の沈下・崩落や空洞拡大による安全性の低下が懸念される。(地中内に壊れかけている躯体が残ることで安全性に対する信頼性が低い)。 新設機場については、吸水槽底版海側に遮水工等を配置することで浸透圧への対処も可能であるが、それにより現在の水みちが横方向(東西方向)へ拡大することが懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設機場吸水槽の撤去が先行するため工事中の排水運転は不可。(代替排水が必要) 同左 既設機場の吸水槽躯体は掘削により完全に撤去することが可能。また、目視による空洞の確認や埋戻し等による適切な処置も可能となり、安全性に対する確実性・信頼性が高い。 施工時に完全な処置が可能のため、将来的に水みちの拡大によるパイピング事故は完全に防止できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設機場吐出水槽の撤去が先行するため工事中の排水運転は不可。(代替排水が必要) 同左 流入水路の築造のために既設機場の撤去が前提となる。このため、Plan-2 と同様、掘削により完全に撤去することも可能で安全性に対する確実性・信頼性が高い。 同左
治水性	<ul style="list-style-type: none"> 西、中央機場と比べて新設機場が下流側に大きく前出しとなるとことから導水路内の偏流により他機場の運転水位に影響が生じる可能性がある。(新設時に導流背割堤の延伸が必要) 	<ul style="list-style-type: none"> 導水路内の流況は現況と変わらず、他機場への水理的な影響は皆無。 	<ul style="list-style-type: none"> 新設機場は下流側へ移動するが、既設の導流堤が現況と変わらないため、Plan-2 と同様、他機場への水理的な影響は皆無。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 既設撤去工事(地上部のみの場合)と新設工事の同時施工が可能であり、他 Plan に比べ工期が短縮できる。 既設機場地中部の撤去が必須条件とならないため、地中部撤去を行わない場合には最も工期が短くなる。(地中部撤去を行う場合には Plan-2 と同等程度の工期。) 新設機場の下には支障物(既設基礎杭)が無いことから他 Plan に比べて施工が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設機場の撤去を先行、また、同時施工は出来ないため、Plan-1 に比較して工期が長く必要となる。(24ヶ月以内の工期には対応可能) 地中部を含めた既設機場の撤去が必須条件となる。 既設の基礎杭が新設の基礎杭施工の支障となる可能性があるが、径 1000mm 程度の鋼管杭を使用し、重複時に対応可能にできる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設撤去工事は機場本体と導水路が必要のため Plan-2 と同程度以上の工期が必要となる。(土木工事部分のみ) 地中部を含めた既設機場、吐出水路の撤去と事前の電気室・変電室の移設、家屋移転が必須条件となる。(移設、移転を含めた場合は Plan-2 より長く必要) 新設機場の下には既設杭は無いため、新設の基礎杭施工に対する支障は無い。
仮設工	<ul style="list-style-type: none"> 既設地中部の撤去を行わない場合には他 Plan に比べて施工規模は小さい。(地中部の撤去を行う場合には Plan-2 より施工規模が大きくなる。) 	<ul style="list-style-type: none"> 既設地中部までの撤去を考慮した場合には、本 Plan では土留工が共通となるため施工規模は最も小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 他 Plan と比べて土留め工の規模は最も大きく必要となる。

計画案	Plan-1 現 東排水機场上流	Plan-2 現 東排水機場位置	Plan-3 現 東排水機場下流
概算施工期間	21ヶ月 ○	24ヶ月 △	27ヶ月 ×
機械電気設備への影響	<ul style="list-style-type: none"> 吐出管路が Plan-2 に比べて約 30m 長くなるため管路摩擦ロスが大きくなり不利。(揚程の増加による原動機出力の増加) 管路延長 95m 吐出配管は地上部を撤去後に埋戻した既設吸水槽の躯体上を配管することとなり、長期的な安全性に対する懸念がある。(建設後に変状が生じないような処置を行うためには高価な費用必要、また費用をかけたとしても信頼性を担保できない。) 	<ul style="list-style-type: none"> Plan-1 に比べ管路摩擦ロスは小さく有利。管路延長 65m 吐出配管はパイピングが生じていない吐出水路を埋殺して使うことから吐出管路基礎としての安定性に対する問題は無い。 	<ul style="list-style-type: none"> 他 Plan に比べて管路が短いため管路摩擦ロスが小さくなり最も有利。管路延長 35m 既設全体を撤去、再建設する Plan となるため特に問題は無い。
経済性	<ul style="list-style-type: none"> 他 Plan に比べて、吐出配管が長くなる分の工費が高い。また、吐出管路延長が長くなるため配管ロスが大きくなり、ポンプのランニングコストが高くなる、 既設機場底版下の空洞化への対処が必要となるため、Plan-2 に比べて山留め工が大きく費用が高くなる。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設機場の撤去も新設と同一山留め内となるため他に比べて工事費が安価となる。 	<ul style="list-style-type: none"> Plan-2 と同様、既設機場の撤去のため山留め工が大きく費用が高くなる。 吐出配管が他 Plan と比べて最も短くなり経済的となる。(ランニングコストも低くなる。) 中央、西排水機場で共用している電気室の移設工が必要となり工費が高くなる。 右岸側にある倉庫と管理人建屋の撤去、再建築が必要となるため他 Plan と比べて高価となる。
総合評価	△ △ <ul style="list-style-type: none"> 治水性や長期的な安全性・信頼性への不安が残る。 	○ ○ <ul style="list-style-type: none"> 既設基礎杭との重複の処理は径 1000mm の鋼管杭の使用で対応可能となり、施工の確実性が高く、治水性に優れる。 	△ ×

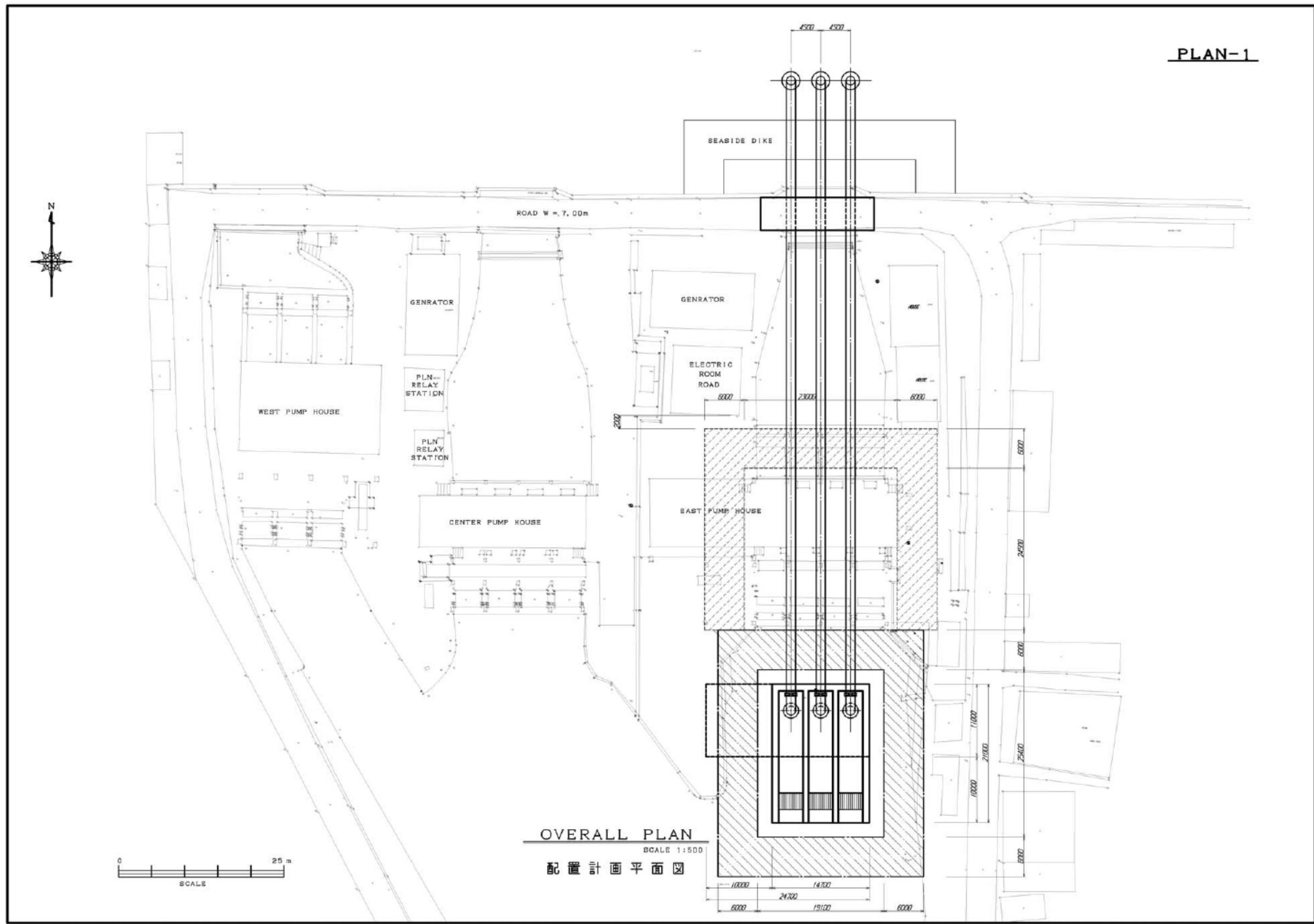


図 3-14 機場配置 Plan 1 現 東排水機場上流

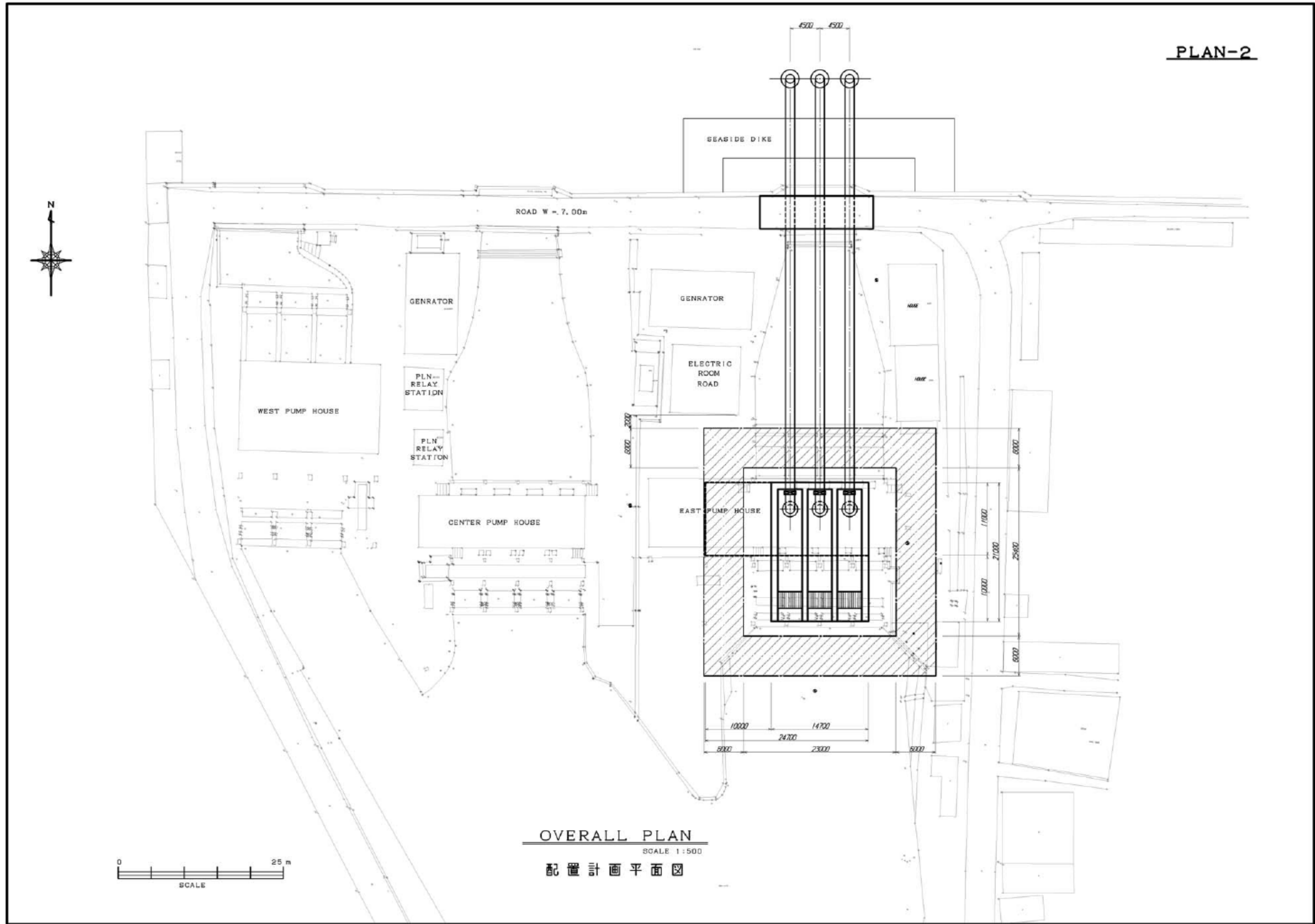


图 3-15 機場配置 Plan 2 現 東排水機場位置

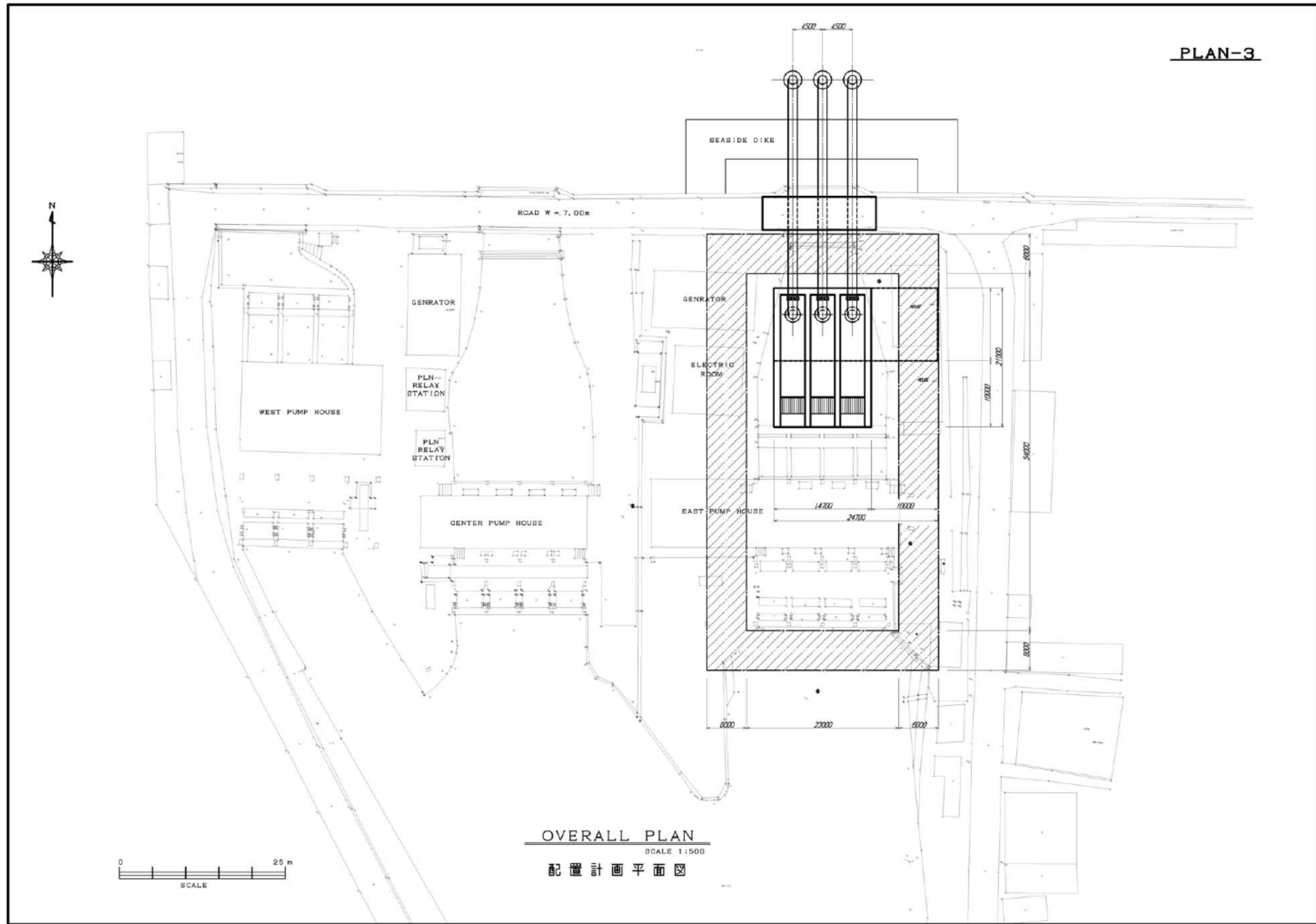


图 3-16 機場配置 Plan 3 現 東排水機場下流

3) 構造設計 (土木)

ア) 吸水槽の形状寸法 (機場本体)

ポンプ設備からの要求により吸水槽の躯体寸法を図 3-17 の通りとする。水槽の形状については、ポンプ口径、自動除塵機、発電機等の機械設備寸法により決定する。

吸水槽部分は地下構造、電気室部分は地上構造として、建屋からの荷重を考慮して設計を行う。

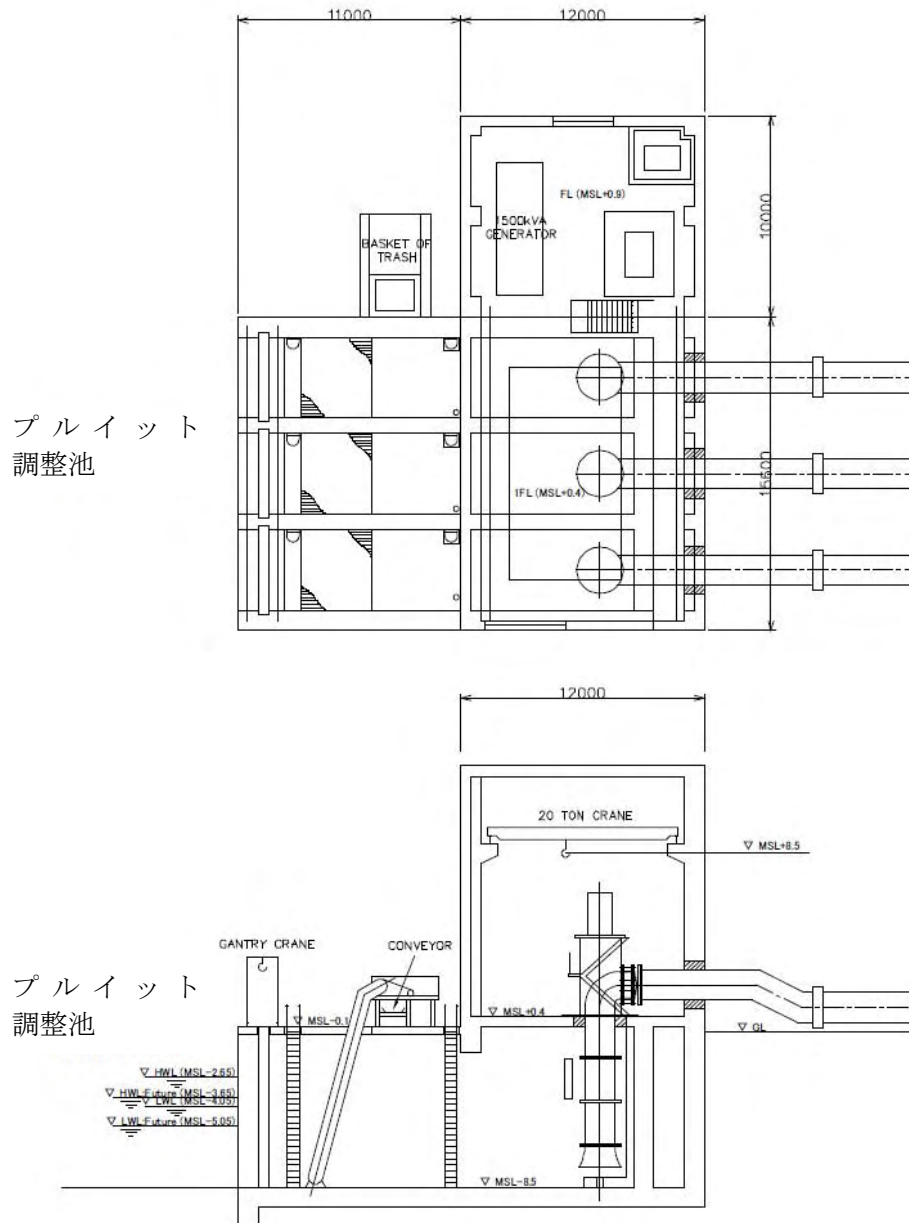


図 3-17 吸水槽寸法根拠図

イ) 設計手順

後述する通り、本排水機場の基礎形式は地盤条件から基礎杭となることから、図 3-18 の手順により概略設計を進める。

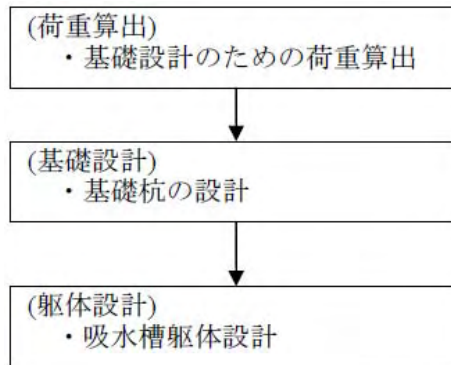


図 3-18 設計手順

ウ) 設計荷重の考え方

想定する設計荷重は、下記の基本荷重を組み合わせ、揚圧力と内水重の有無で常時 2 ケース及び地震力と揚圧力の有無で地震時 2 ケースとし、計 4 ケースの荷重状態を想定する。土質調査結果より、周辺地盤の自然地下水位は $GL-1.0m$ と設定する。揚圧力の算定は、流入側 LWL と海側 HWL の水位差を考慮する。

<吸水槽において考慮する荷重の種類>

- 1) 躯体自重
- 2) 静止土圧・静水圧(常時)
- 3) 設備機器動荷重(常時)
- 4) 上屋荷重
- 5) 揚圧力(有り/無し)
- 6) 内水重(運転水位および空)
- 7) 主働土圧・静水圧(地震時)
- 8) 躯体慣性力(地震時)
- 9) 設備機器静荷重に対する慣性力(地震時)
- 10) 動水圧(地震時)

作用荷重模式図を図 3-19 に示す。

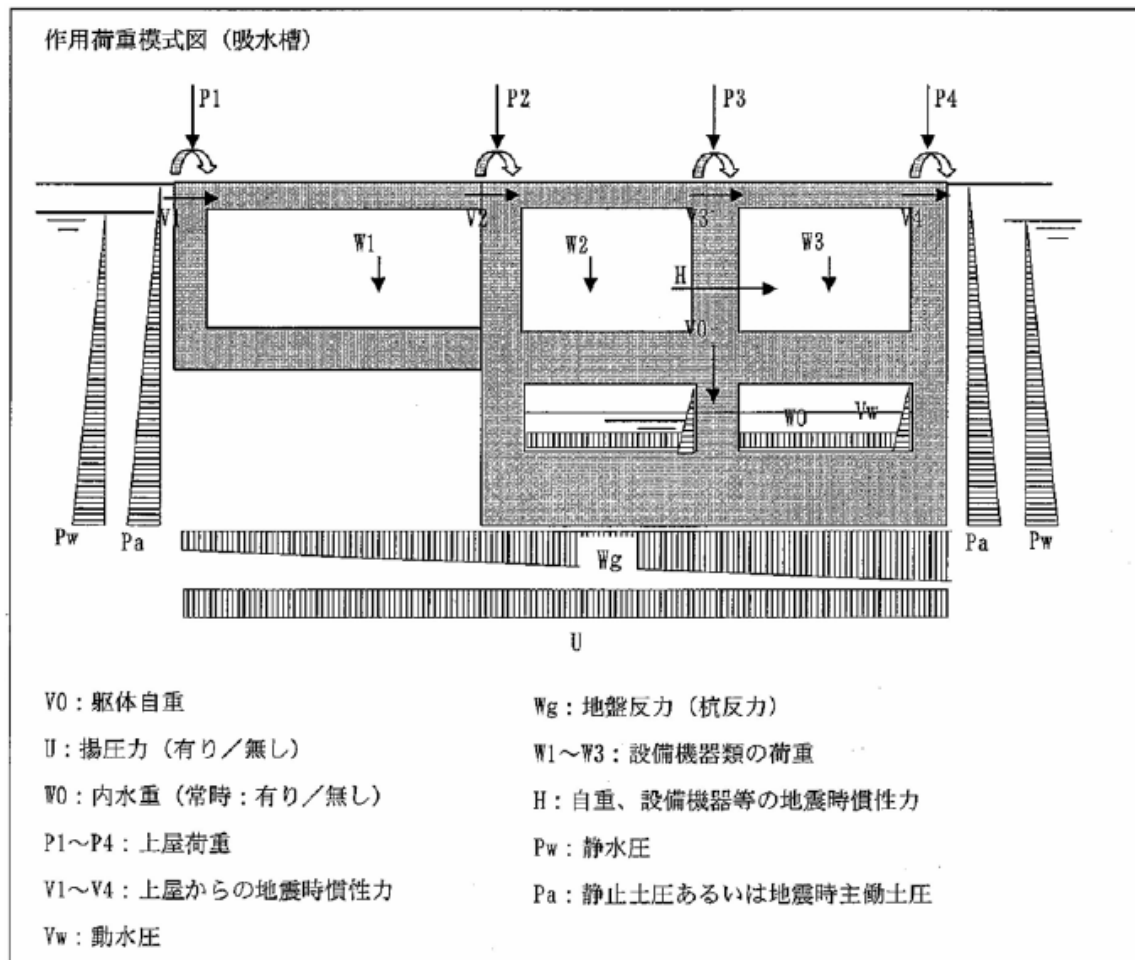


図 3-19 作用荷重模式図（吸水槽）

エ) 基礎工の選定
（基礎形式）

地盤面より約 20m までの深さに N 値 0（ゼロ）の軟弱な粘性土が分布しており、本施設は機械設備を有するため不同沈下は許されないことから、「杭基礎形式」を採用する。

構造規模から杭種として PC 杭（コンクリート杭）或いは鋼管杭が想定されるが下記を理由に「鋼管杭」を採用する。

既設底版下には正方形 40cm の既設 PC 杭が打設されており、既設の杭配置は想定されるものの正確に把握することは不可能である。このため、新設杭は同一位置に重ねての打設となる可能性もあることから、これに対応可能な PC 杭に比べて肉厚が薄く内空の大きい $\Phi 1000$ 程度以上を採用する（後述の「基礎杭設計に関する補足説明」を参照）。大口径の PC 杭については「イ」国内で製造していないが、鋼管杭については製造しているため国内での入手が可能である。基礎形式選定表を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎形式選定表

基礎形式		直	打込み杭基礎				中掘り杭基礎				プレキャストコンクリート杭基礎	場所打ち杭基礎				ケーソン基礎	鋼管矢板基礎	地中連続壁基礎					
			R	FHC・SC	鋼管杭打設工法	パイプ工法	PHC・SC杭		鋼管杭			打込み工法	コンクリート工法	ケーシング工法	リバー工法				アースドリル	深			
							最終打設方法	噴出攪拌方式	最終打設方法	噴出攪拌方式													
地盤条件	支持層までの状態	中間に極軟弱層がある	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
		中間に極硬い層がある	○	×	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	△	○			
		中間層にれきがある	れき径 5cm以下	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			れき径 5cm~10cm	○	×	△	△	○	△	△	△	△	△	△	○	○	△	○	○	△	○		
	れき径 10cm~50cm		○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	○	△	×	△		
	液状化する地盤がある	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	支持層の状態	支持層の深度	5m未満	△	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
			5~15m	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△	△	
			15~25m	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			25~40m	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	
40~60m			×	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	○	×	×	△	○	○		
60m以上		×	×	×	△	△	×	×	×	×	×	×	△	△	×	×	×	×	△	△	△		
支持層の土質	粘性土 (20≤N)	○	○	○	○	○	○	×	△	○	×	△	△	×	○	○	○	○	○	○			
砂・砂れき (10≤N)	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
補強が大きい (30° 程度以上)	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	△	△	○	△	○	△	△	△	△			
支持層面の凹凸が激しい	○	△	△	○	○	△	△	△	○	△	△	△	△	○	○	○	○	△	△	○			
地下水の状態	地下水位が地表面近い	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○			
	湧水量が極めて多い	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	△	×	○	○	△			
	地表より2m以上の無圧地下水	×	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	△	△	○	×		
地下水流速 3m/min以上	×	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	△	○	×		
構造物の特性	荷重規模	鉛直荷重が小さい(支脚20m以下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	△	×	×	
		鉛直荷重が普通(支脚20~50m)	○	△	○	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		鉛直荷重が大きい(支脚50m以上)	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	
		鉛直荷重に比べ水平荷重が小さい	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
	鉛直荷重に比べ水平荷重が大きい	○	×	△	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
支持形式	支持杭	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
埋込杭	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△		
施工条件	水止施工	水深 5m 未満	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	×	×	○	△	×	△	△	○	×	
		水深 5m 以上	×	△	△	○	○	△	△	△	△	△	△	△	×	×	△	×	×	△	△	○	×
	作業空間が狭い	杭の施工	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	×	△
		杭の施工	△	△	○	○	×	×	×	△	△	△	△	△	×	△	×	×	×	△	△	△	△
有害ガスの影響	周辺環境	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○	
	振動騒音対策	○	×	×	×	△	△	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	×	○	
隣接構造物に対する影響	○	×	×	△	△	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	○		

○：適合性が高い △：適合性がある ×：適合性が低い

出典) 杭基礎設計便覧 (H19年1月) (財) 日本道路協会

(支持層)

既存施設の基礎も杭を採用しており、地盤面から 20m 深さ程度の中間砂層を支持層としている。本施設の基礎杭については、下記の観点から地盤面から 40m 以深の「下部砂層」を支持層として設定する。

現在の東排水機場は過去 45 年間で 1.5m 程度沈下したと推定され、これに伴い建設当初の機能は低下しているものと推定されるが、本施設では沈下量をより小さくすることで長期間の機能確保を可能とする。

排水機場本体に関しては機械設備を有し、特にポンプ設備については高い水平精度 (ポンプ軸の鉛

直性等)の保持が求められるため、確実に不同沈下を防止することができる支持杭形式を採用する。支持層へは杭径 1D (D:杭径)程度の根入れが必要で、支持層として必要な層厚は杭先端からの荷重分散より連続して 5D 程度以上が必要となる。今回、排水機場本体について杭径 $\Phi 1000$ を使用することから必要な厚さは 5m 程度以上となり、図 3-20 及び図 3-21 に示すとおり標高 MSL-40m 付近から分布する VS2 層を基礎杭の支持層とする。

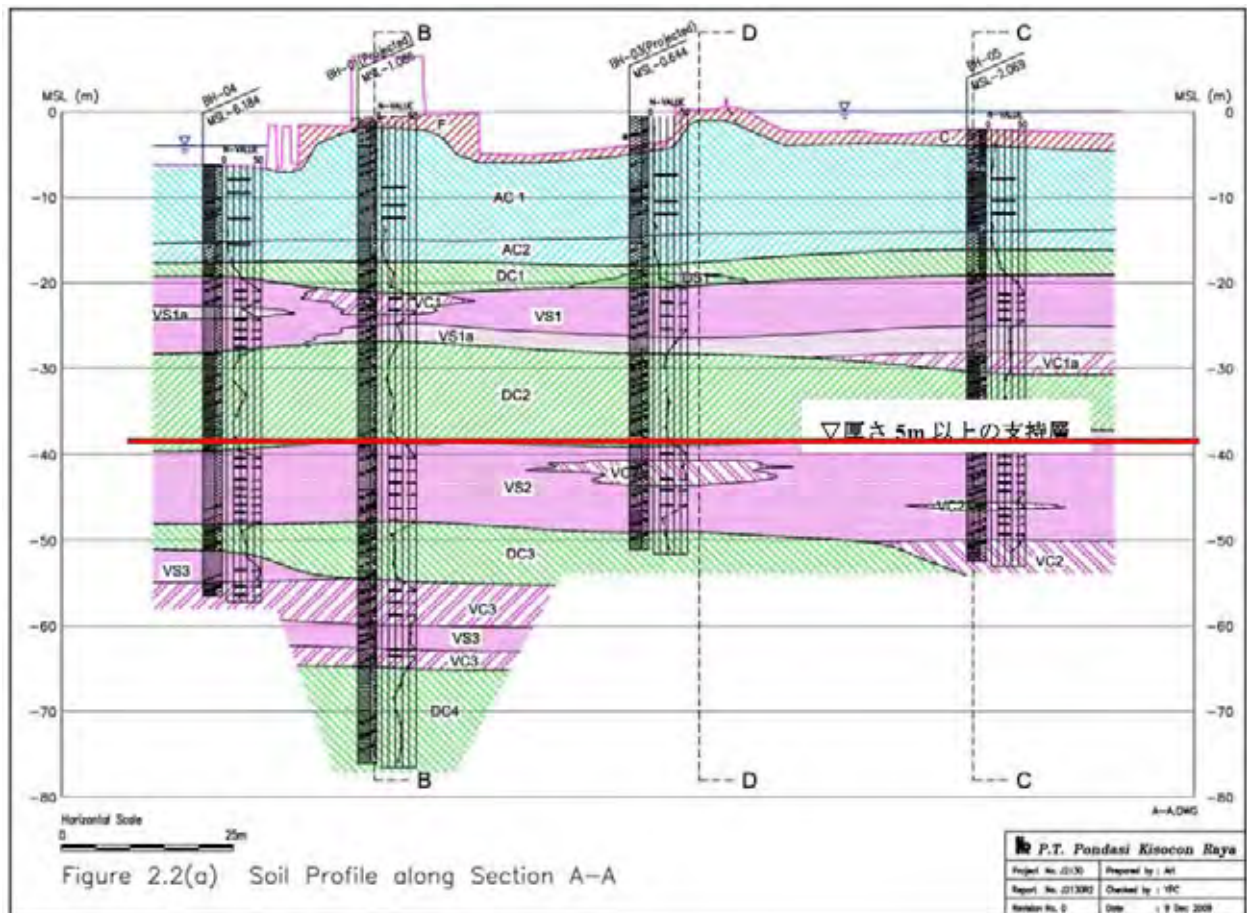
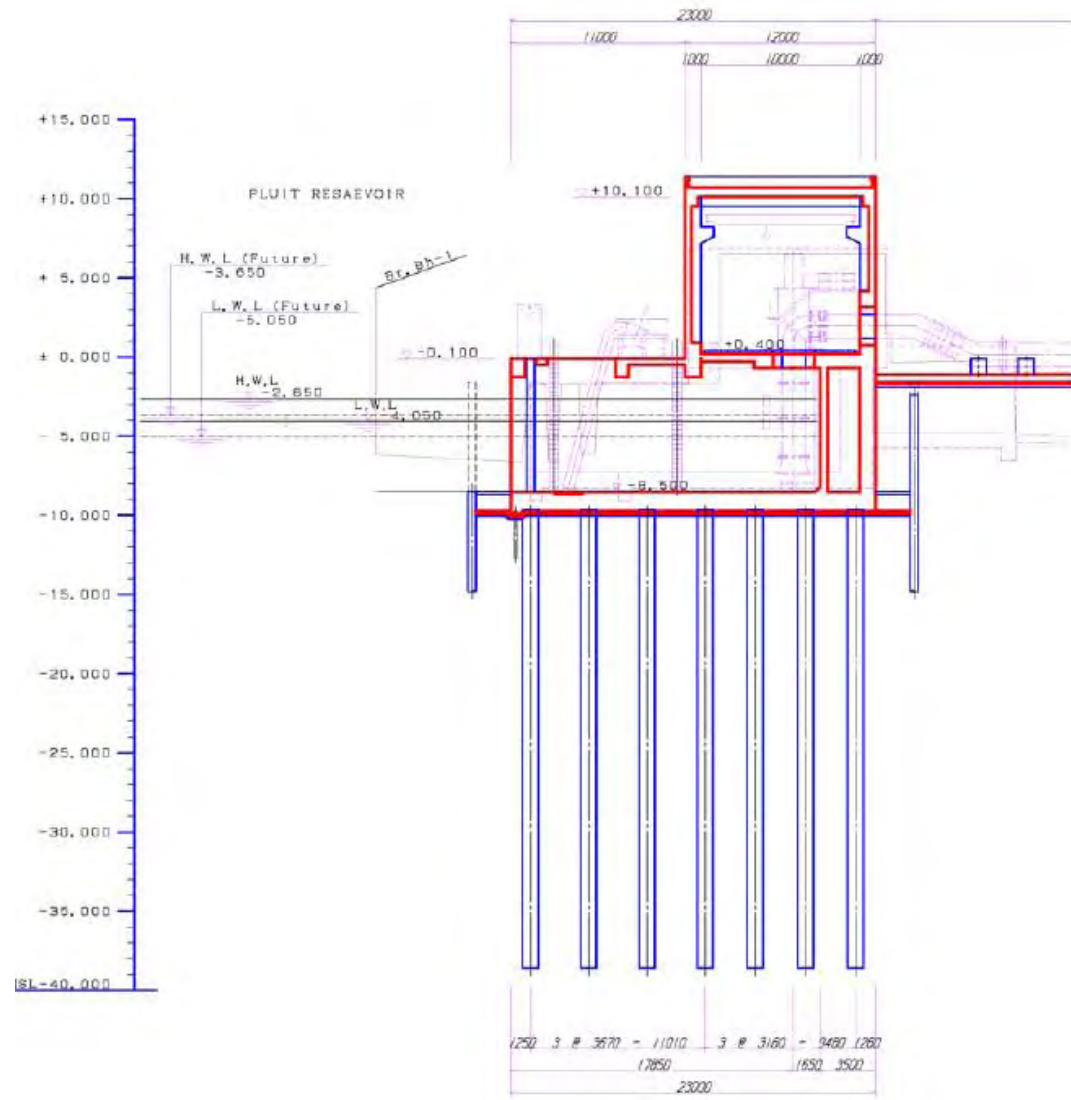


図 3-20 機場の推定土層断面図



<ボーリング柱状図>

(BH-01)



(BH-02)

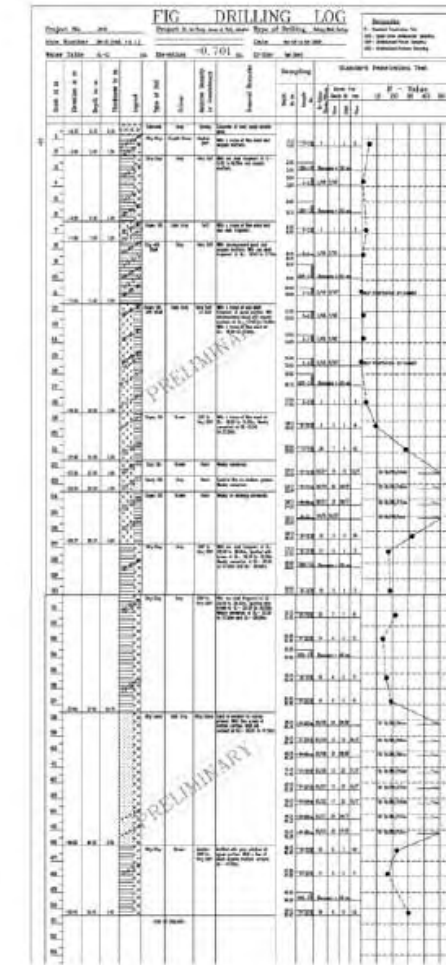


図 3-21 機場の推定土層断面図

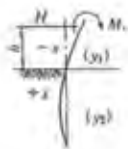
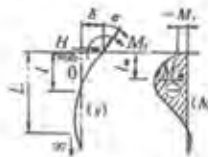
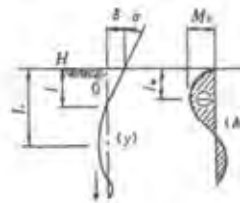
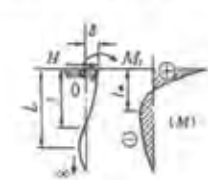
(施工時の杭位置の変更による影響)

杭の設計は、鉛直支持力の照査、水平支持力(変位)の照査により行うが、水平力は杭本数で均等に負担される。排水機場では吐出側からの偏土圧が作用するため、鉛直荷重に比べ水平力が大きく杭の必要本数は水平力により決定される。

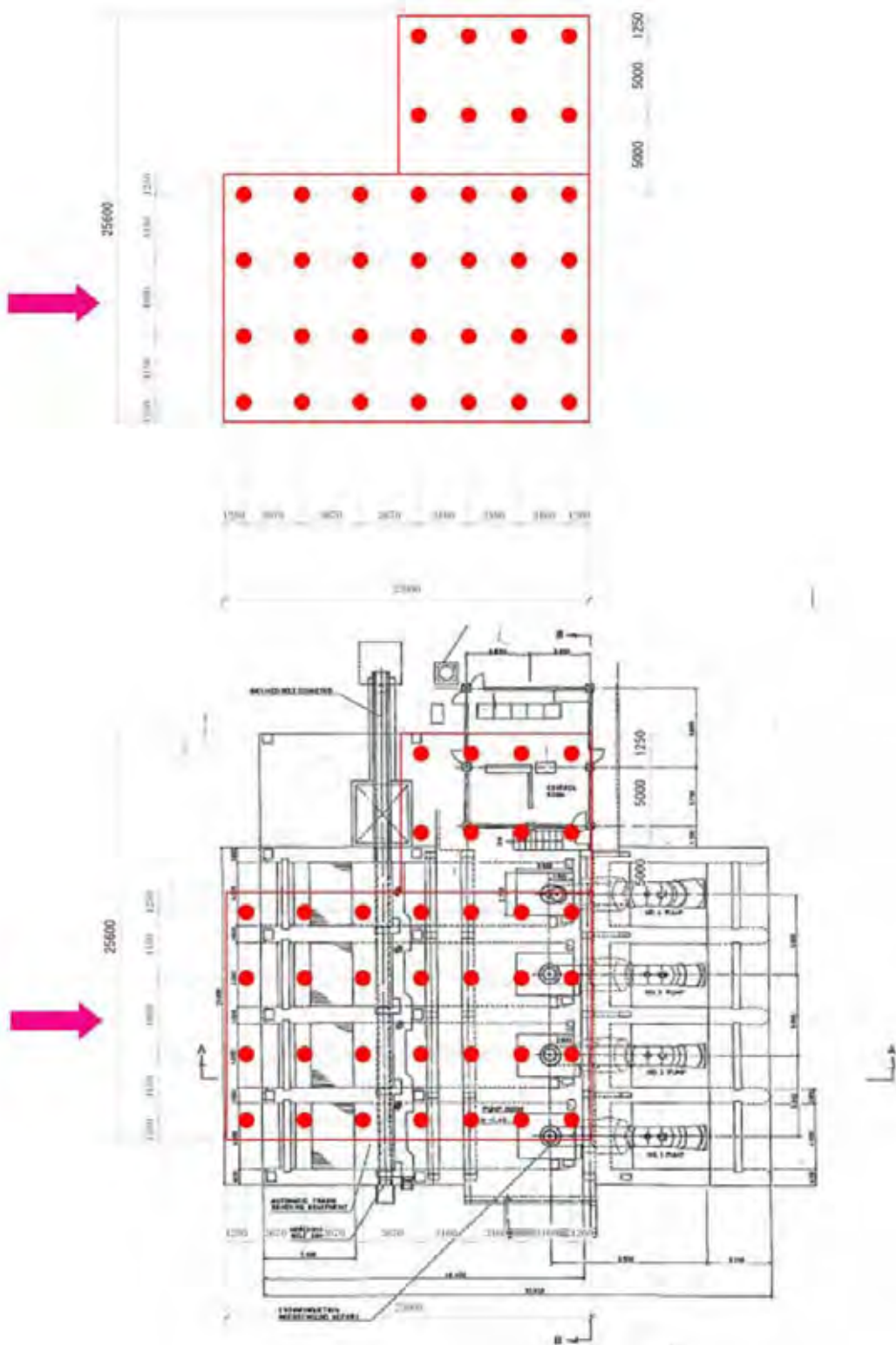
水平力に対する設計は表 3-9 に示すチャンの式により変位と杭頭曲げ応力の照査となるが、土質調査結果によると杭頭付近は弾性係数が低い軟弱な粘性土であり、本計画位置での杭仕様と本数は水平力から決定されることが明らかである。

このため、施工時に杭位置調整(移動)を行った場合についても、設計時に水平力から杭仕様(本数)が決定されているため、鉛直支持力(杭反力)は変更となるものの許容値内となり、杭の総本数を変えずに配置することで水平力に対する安全性の確保は可能である。従って、数量変更を伴う設計変更をすることなく杭位置を変更することができる。

表 3-9 杭軸直角方向の設計資料

<p>たわみ曲線の 微分方程式</p>		<p>地上部分: $EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0$ 地中部分: $EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + p = 0$ $p = k_n D y_2$ H: 杭軸直角方向力 (N) M_1: 杭頭の外力としてのモーメント (N・mm) D: 杭径 (mm) E: 杭のヤング係数 (N/mm²) I: 杭の断面二次モーメント (mm⁴)</p>	<p>k_n: 水平方向地盤反力係数 (N/mm³) h: H, M_1 の作用する地上高 (mm) $\beta = \sqrt{k_n D / 4EI}$ (mm⁻¹) $k_s = \frac{M_1}{H}$ (mm)</p>
<p>杭の状況</p>	<p>土中に埋込まれた杭 ($h = 0$)</p>		
<p>たわみ曲線と 曲げモーメント図</p>	<p>イ) 基本形</p> 	<p>ロ) $M_1 = 0$ の場合 ($k_s = 0$)</p> 	<p>ハ) 杭頭が回転しない場合</p> 
<p>たわみ曲線 y (mm)</p>	$y = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} [(1 + \beta h) \cos \beta x - \beta h \sin \beta x]$	$y = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} \cos \beta x$	$y = \frac{H}{4EI\beta^3} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$

出典) 道路橋仕様書IV、P392



注) 赤線が新設吸水槽底板を示す。

図 3-24 新設杭の配置案

(新設杭の仕様と配置案)

新設杭は既設杭に重ならないよう予め配置することが望ましいが、正確な配置が不明のため既設躯体の撤去が完了した時点で杭位置の確認を行い、杭の総本数を変えないで位置の微調整を行う。また、 $\Phi 1,000$ 程度以上の鋼管杭を選定しておき、どうしても重なる場合は、図 3-23 に示すとおり抱込む形で杭頭の施工が可能なものとする。

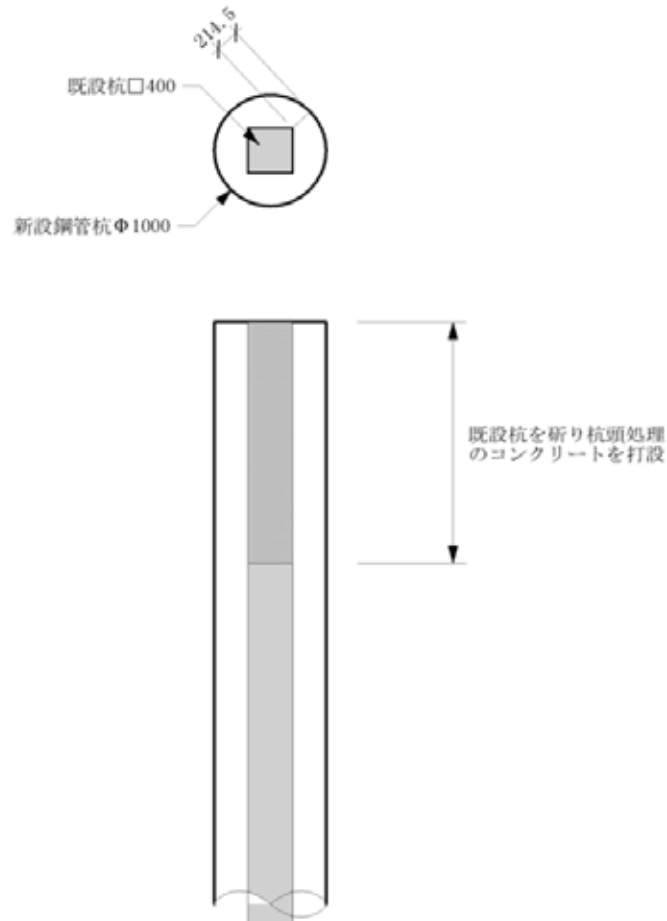


図 3-23 新設杭の杭頭処理

図 3-24 に現時点で想定される新設の杭配置案および既設との重ね図を示すが、既設と新設の流入水路列数の違いから壁下の杭が重なる可能性は低い。水路中央部の杭は近接または重なる可能性があるため、既設躯体形状等を考慮の上、極力、重なる可能性が低い位置に配置調整しておく。

(既設杭の仕様および杭配置の推定)

既設吸水槽の杭配置の資料は入手できなかったが、図 3-22 に示す自動除塵機増設時の図面および中央、西排水機場の設計図面等から下記の通りの配置であると推定される。

正方形杭の 400mm を打設。杭仕様 (口杭) については、パイピングにより空洞となっている変電室底版下において目視確認済み。また、「イ」国内で製造している PC 杭であることも確認した。配置ピッチは側壁および内壁の壁中心を基本として各流入系列の中央に配置する。

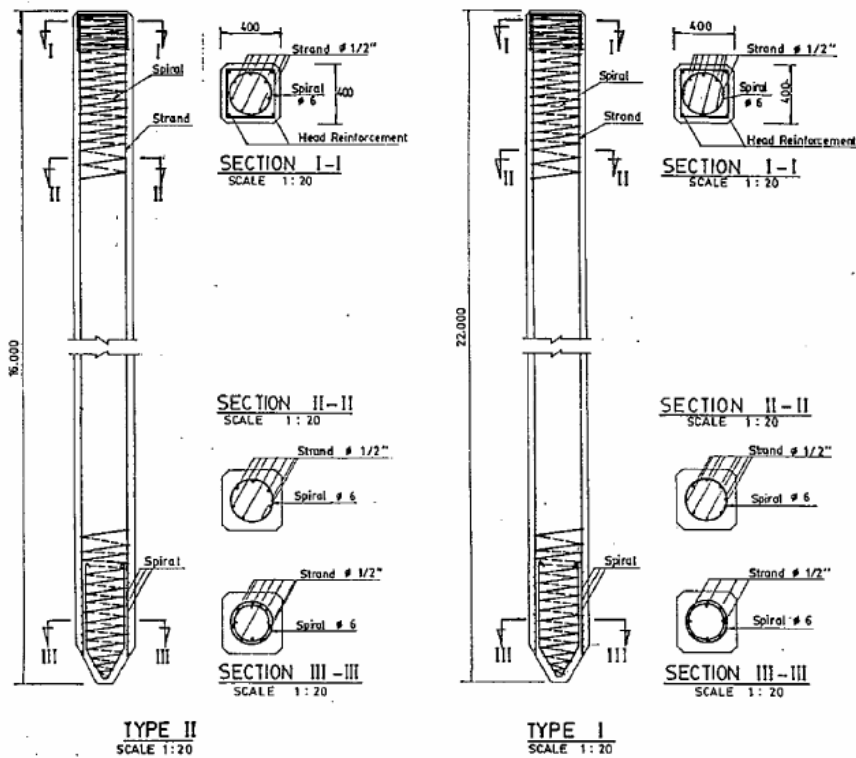
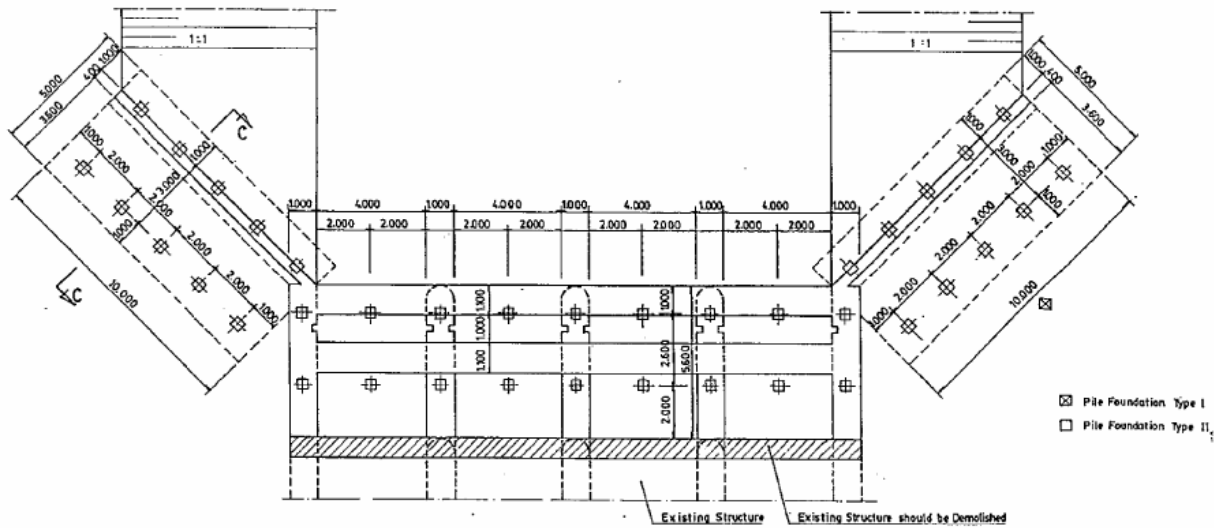


図 3-22 増設時の図面資料

オ) 細部構造

(グラウトホールの設置)

排水機場本体が基礎杭で将来的に周辺地盤の沈下が予想されことから、既設での現象と同様、底版下側に地盤との空隙が生じる可能性がある。このため、空隙の確認と空隙が生じた場合に対応が可能なよう底版にグラウトホール（沈下版）を設置することを考慮する。なお、設置する場合は水圧への対応として隔壁内での配管とする。

(排水管路ピット)

既設排水路全体を撤去すると周辺への影響があるため周辺地盤からの壁の立上がり部だけを壊し、内部を埋戻して新設する排水管路のピットを構築する。

埋戻しは荷重増を小さくするため周辺地盤より一段低い高さまでとするが、排水管路のサイホン形成に支障が無く、かつ海側道路下の横断が可能な高さを設定する。また、周辺地盤との高低差については法面により処理する。

ピット内には水が溜りやすく、下部は既設水槽となっていることから排水溝および雨水浸透防止のための被覆（法面張りブロックおよび簡易舗装）を行う。また、既設水槽底に水が滞留しない措置として内部埋戻し前に既設底版に削孔を行うことで排水孔とすることも必要に応じて行う。排水溝は中央排水機場との間の既設排水路を改修して自然流下による排水とする。

ピット周辺には無断で人が立入らないようフェンスを設置するとともに管理用として鋼製連絡通路・階段を一箇所設置する。

現在、既設水槽の海側を電線ラックにより架空で横断している高圧送電線は、ピット下に直接埋設して切回すものとする。

図 3-25 及び図 3-26 に排水管路ピット断面図を示す。

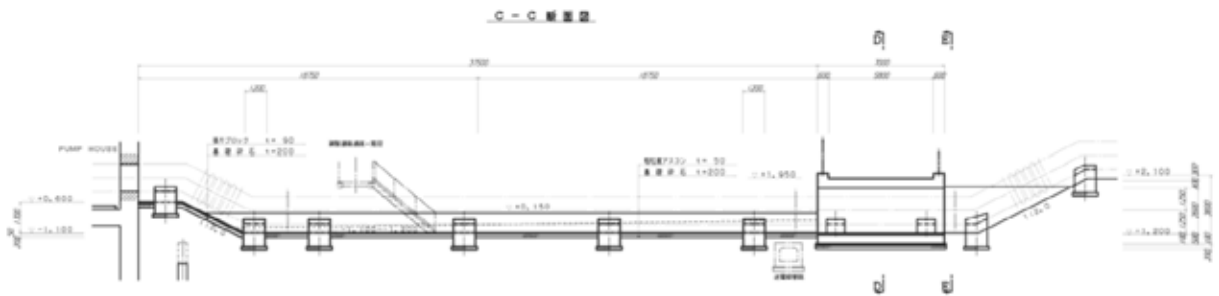


図 3-25 排水管路ピット縦断面図