

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-348 改2
提出年月日	平成30年2月19日

東海第二発電所
耐震性に関する説明書に係る補足説明資料
屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について

平成30年2月

日本原子力発電株式会社

目 次

1. 共通事項

1.1 対象設備

1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容

1.3 安全係数

1.4 屋外重要土木構造部の耐震評価における断面選定の考え方

1.5 地盤物性のバラツキの考慮方法

2. 取水構造物の耐震安全性評価

3. 屋外二重管の耐震安全性評価

4. 常設代替高圧電源装置置場の耐震安全性評価

5. 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震安全性評価

6. 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震安全性評価

7. 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震安全性評価

8. 代替淡水貯槽の耐震安全性評価

9. 常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震安全性評価

10. 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価

11. 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価

12. 緊急用海水ポンプピットの耐震安全性評価

13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価

14. S A用海水ピットの耐震安全性評価

15. 海水引込み管の耐震安全性評価

16. S A用海水ピット取水塔の耐震安全性評価

17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価

18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価

: 今回提出資料

1. 共通事項

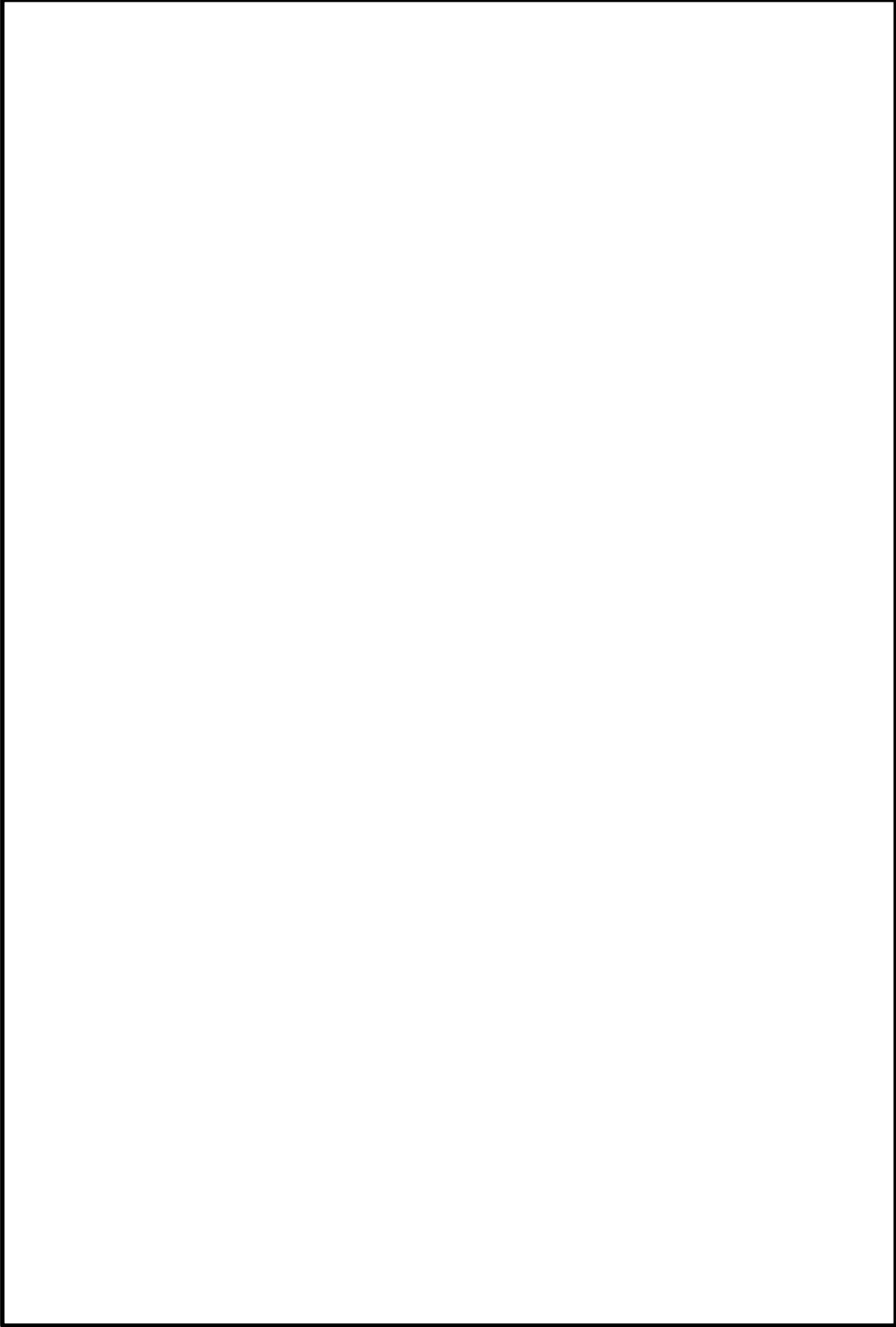
1.1 対象設備

耐震安全性評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管の間接支持構造物若しくは非常時における海水の通水機能・貯水機能を求められる取水構造物、屋外二重管、貯留堰、常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバートである。

また、同様に耐震安全性評価の対象とする「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備」及び「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設」に該当する土木構造物である代替淡水貯槽、常設低圧代替注水系ポンプ室、常設低圧代替注水系配管カルバート、格納容器圧力逃がし装置用カルバート、緊急用海水ポンプピット、緊急用海水取水管、SA用海水ピット、海水引込み管、SA用海水ピット取水塔、緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎、可搬型設備用軽油タンク基礎についても記載する。

なお、防潮堤及び貯留堰については、津波防護施設としての耐震安全性評価を別途実施する。

これらの屋外重要土木構造物等の位置図を第1.1-1図に示す。



第 1.1-1 図 屋外重要土木構造物等位置図

1.4 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

1.4.1 方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状、配置、荷重条件及び地質構造等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

評価対象断面の選定の流れについて以下に示す。

① 耐震評価候補断面の整理

以下の観点にて、耐震評価候補断面を整理する。

- ・ 間接支持される機器・配管系の有無及び設置位置
- ・ 構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）
- ・ 周辺状況（上載荷重、地盤条件変化部、隣接する構造物）
- ・ 地震力の特性（地質構造）
- ・ 機器・構造物への加速度応答算出位置（加速度応答特性）

等

② 評価対象断面の選定

①にて整理した耐震評価候補断面に対して、間接支持される機器・配管系の有無、構造的特徴、周辺状況及び地震力の特性等が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から、耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として絞込む。

また、長尺な構造物である屋外二重管、常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）、緊急用海水取水管及び海水引込み管については、地震力の特性（地質構造）を確認するため1次元地震応答解析を行い、評価対象断面の絞り込みを行う。

なお、各条件（構造的特徴、周辺状況等）を組合せた断面を作成し、保守的な条件設定により評価を実施する場合がある。

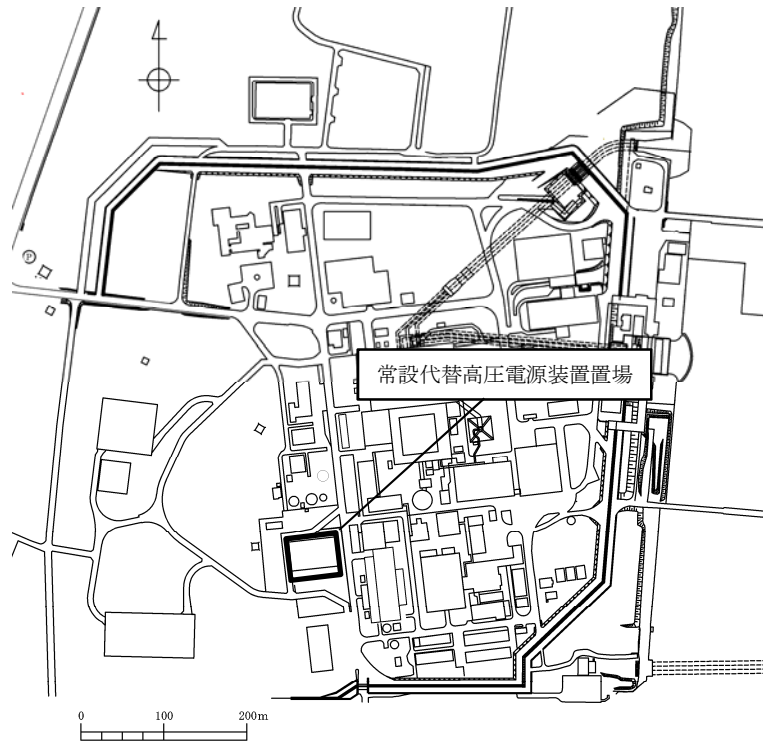
更に、機器・配管系への加速度応答を算出するため、評価対象以外の断面について地震応答解析を実施する場合がある。

1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の断面選定の考え方

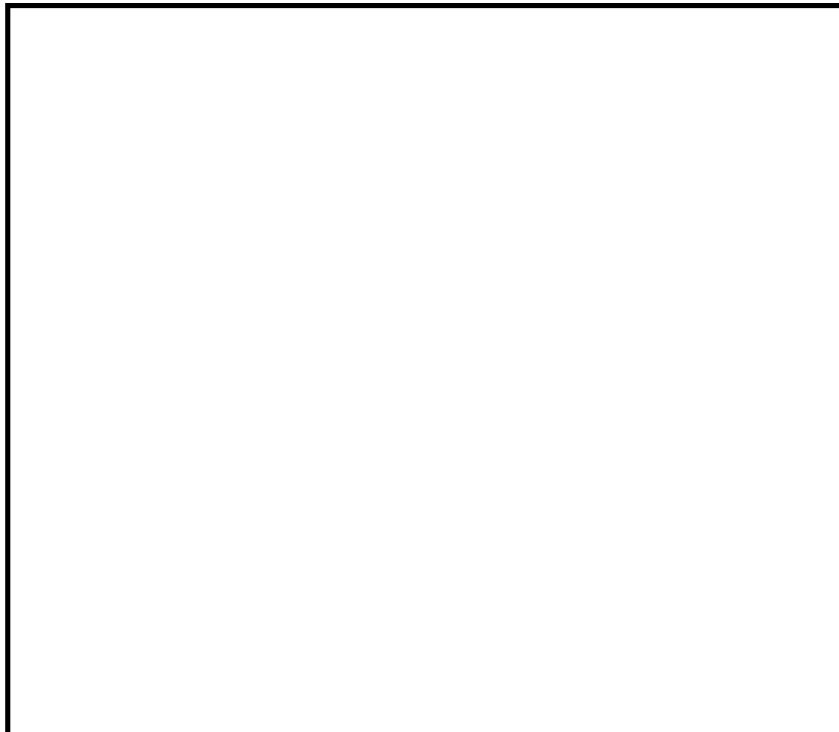
第1.4.4-1図及び第1.4.4-2図に、常設代替高圧電源装置置場（以下、「電源装置置場」という。）の平面図及び電源装置置場に設置される設備の概略位置図を示す。また、第1.4.4-3図に電源装置置場の断面図を示す。

電源装置置場は、常設代替高圧電源装置、軽油貯蔵タンク及び水密扉等の間接支持機能を有する。また、電源装置置場下部（EL. -21.0 m）を西側淡水貯水設備として使用する。

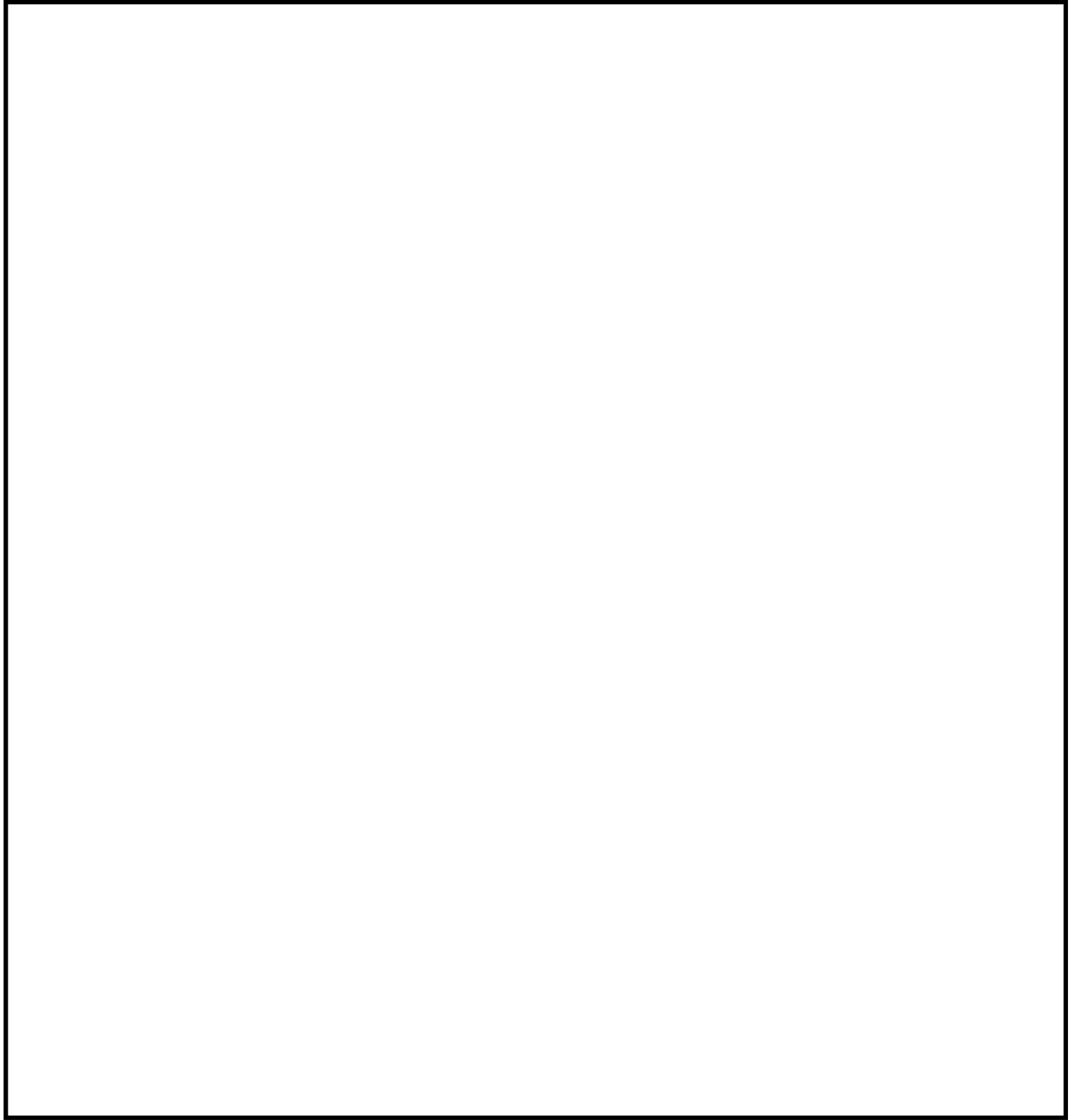
電源装置置場は、東西方向 56.5 m、南北方向 46.0 m、高さ 47.0 m の鉄筋コンクリート構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置する。東西方向に対して複数の断面形状を示すが、構造的には多層多連ボックスカルバート状のラーメン構造である。



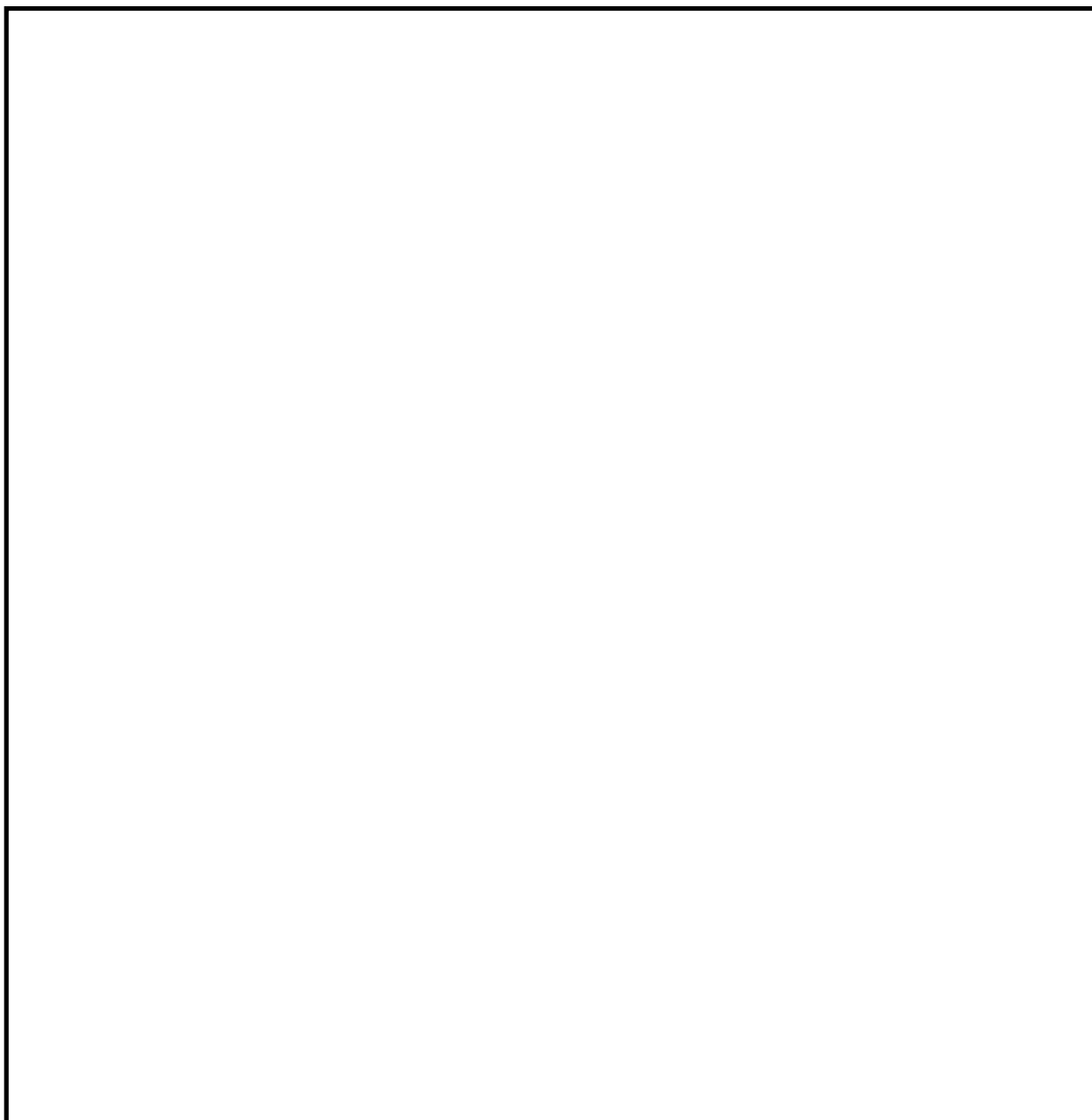
第 1.4.4-1 図 (1) 電源装置置場の平面配置図 (全体平面図)



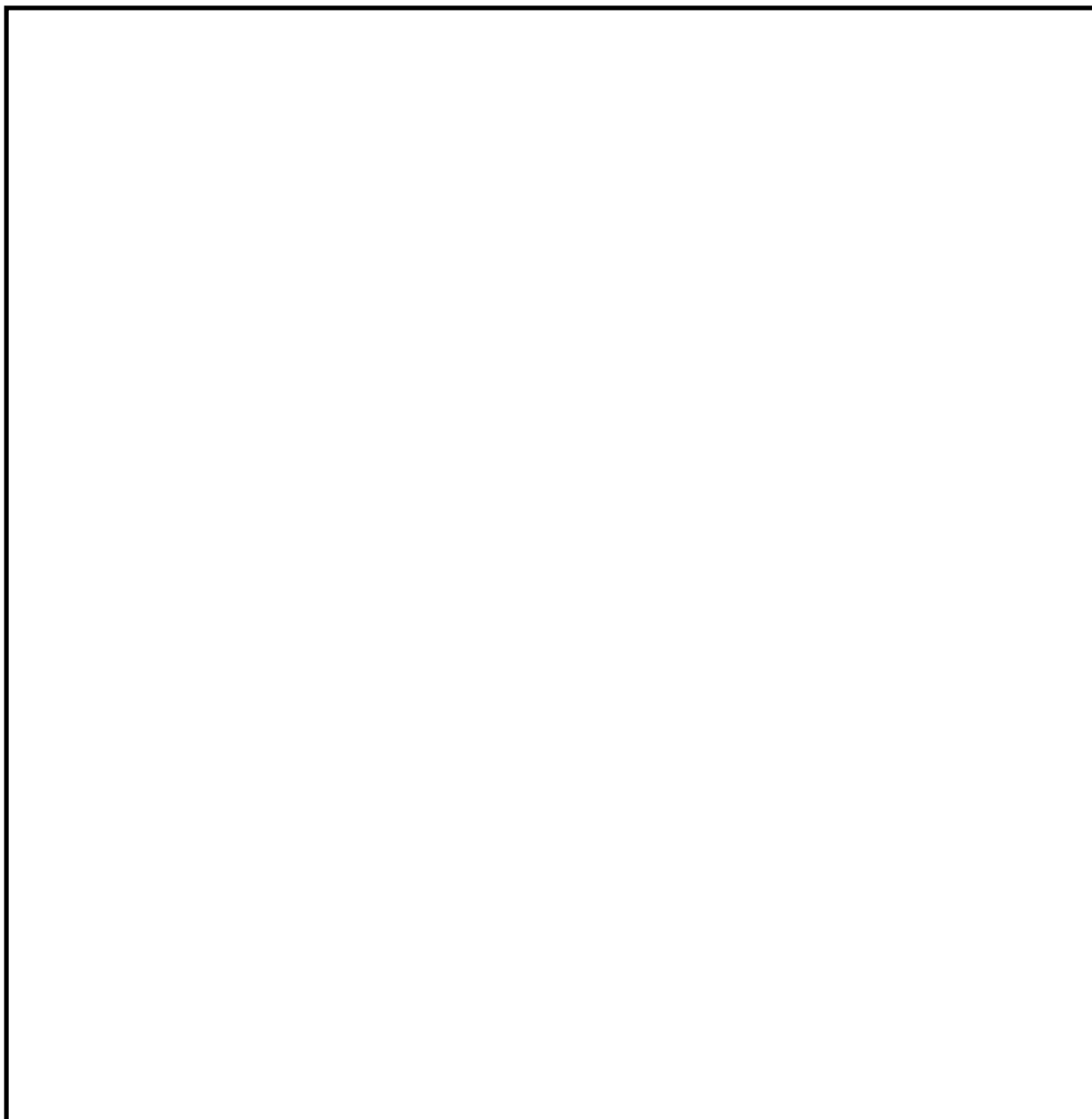
第 1.4.4-1 図 (2) 電源装置置場の平面配置図 (拡大図)



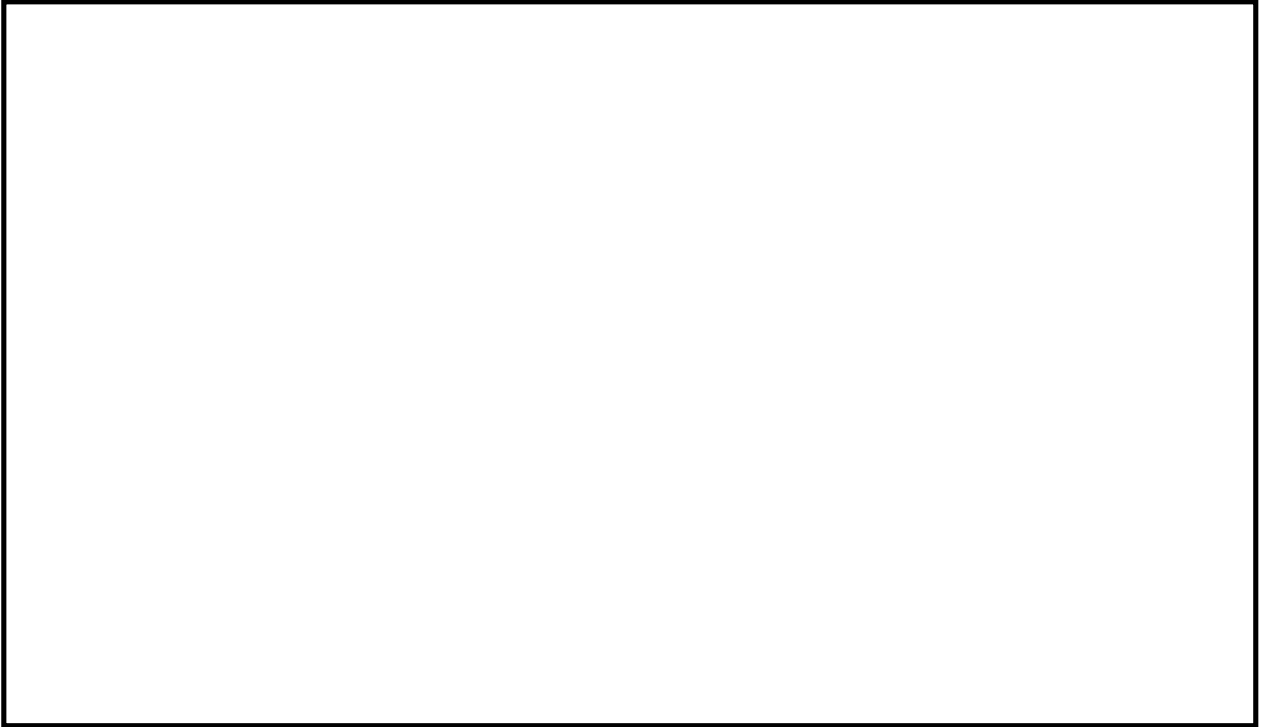
第 1. 4. 4-2 図 (1) 電源装置置場の設備概略位置図
(EL. +11. 0 m, 常設代替高圧電源装置及び水密扉)



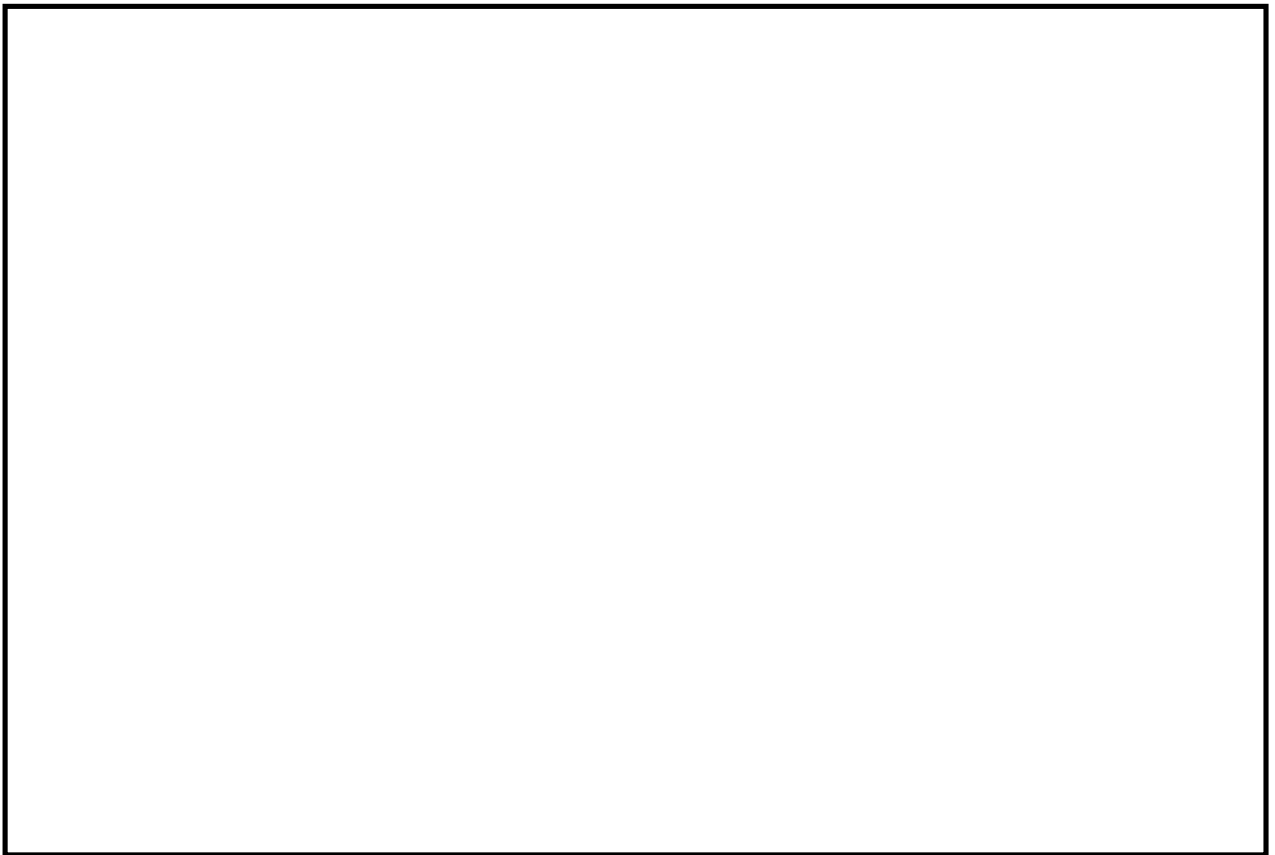
第 1. 4. 4-3 図 (2) 電源装置置場の設備概略位置図
(EL. +2. 0 m, 軽油貯蔵タンク)



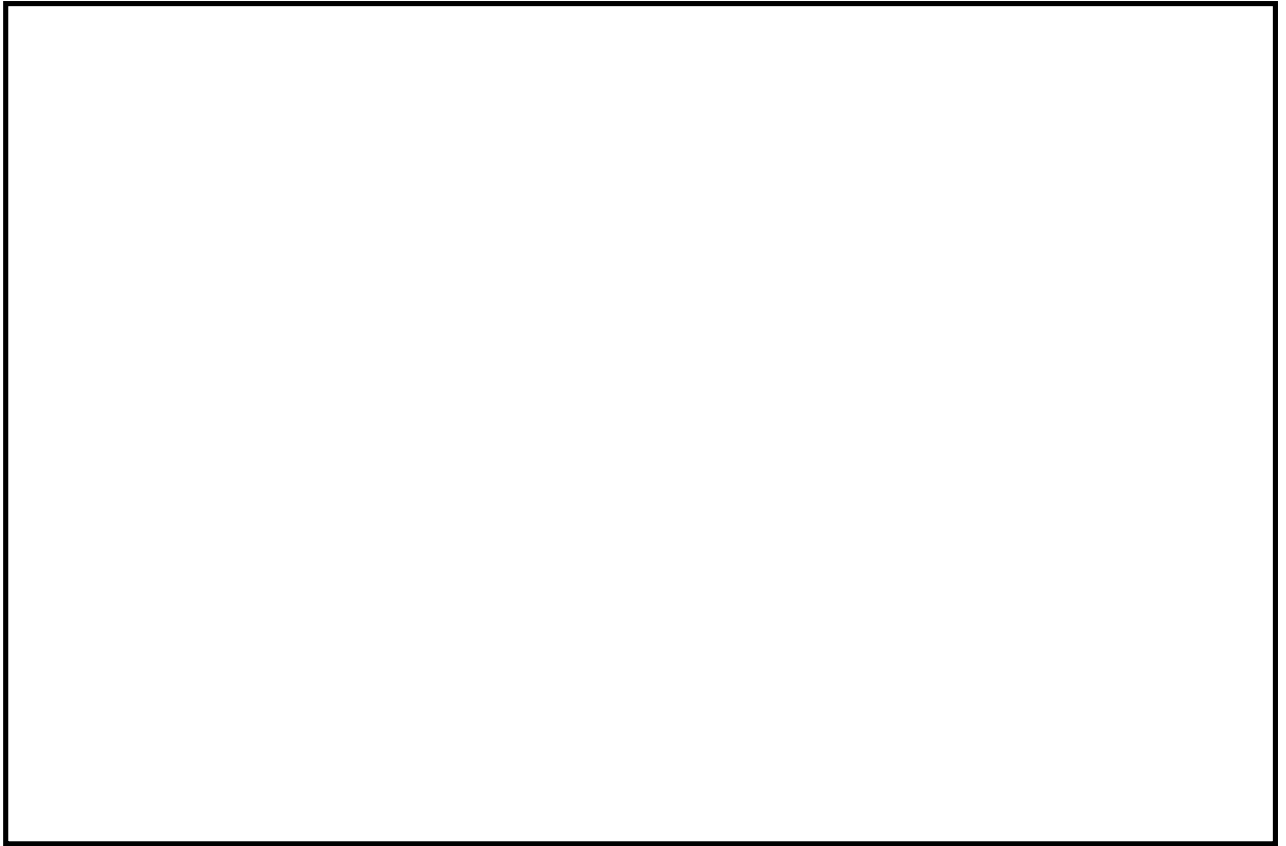
第 1. 4. 4-2 図 (3) 電源装置置場の設備概略位置図
(EL. -21. 0 m, 西側淡水貯水設備)



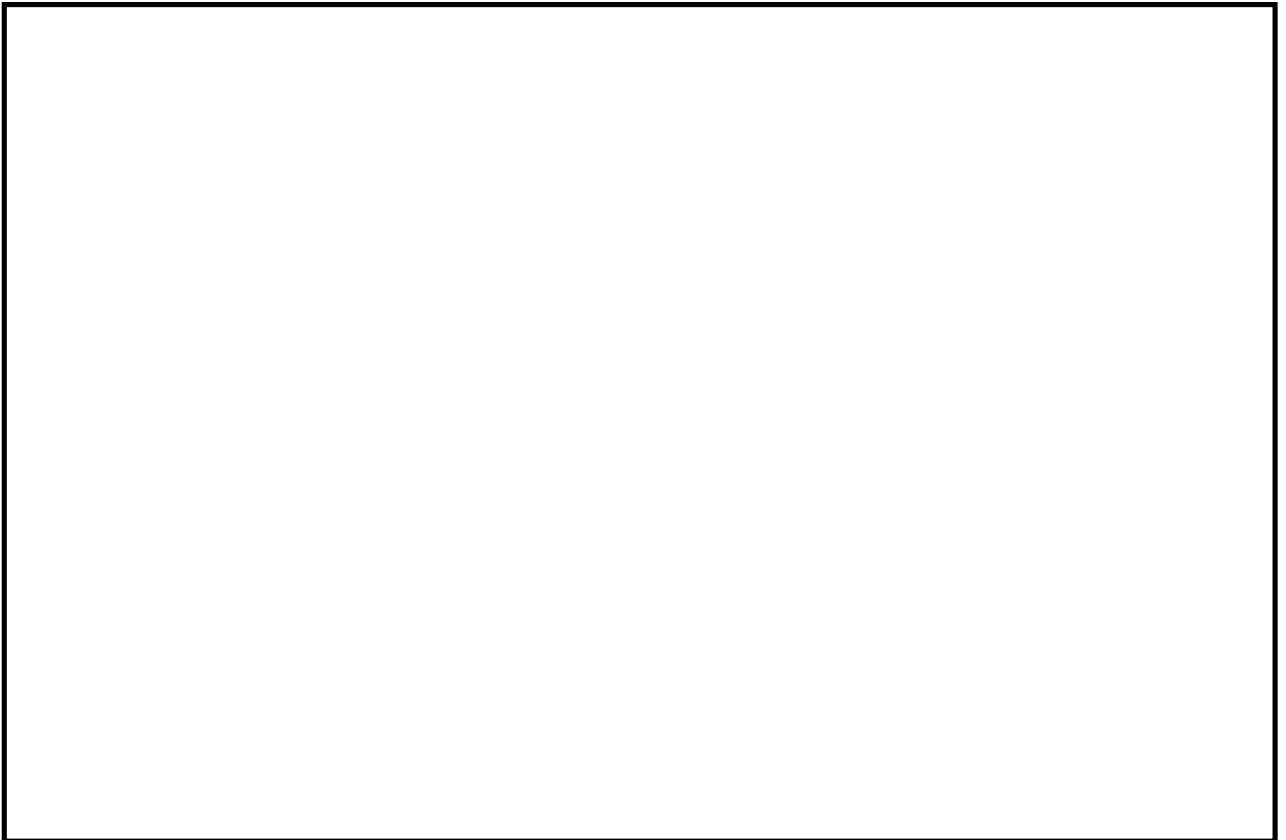
第 1.4.4-3 図 (1) 電源装置置場の断面図 (①-①断面)



第 1.4.4-3 図 (2) 電源装置置場の断面図 (②-②断面)



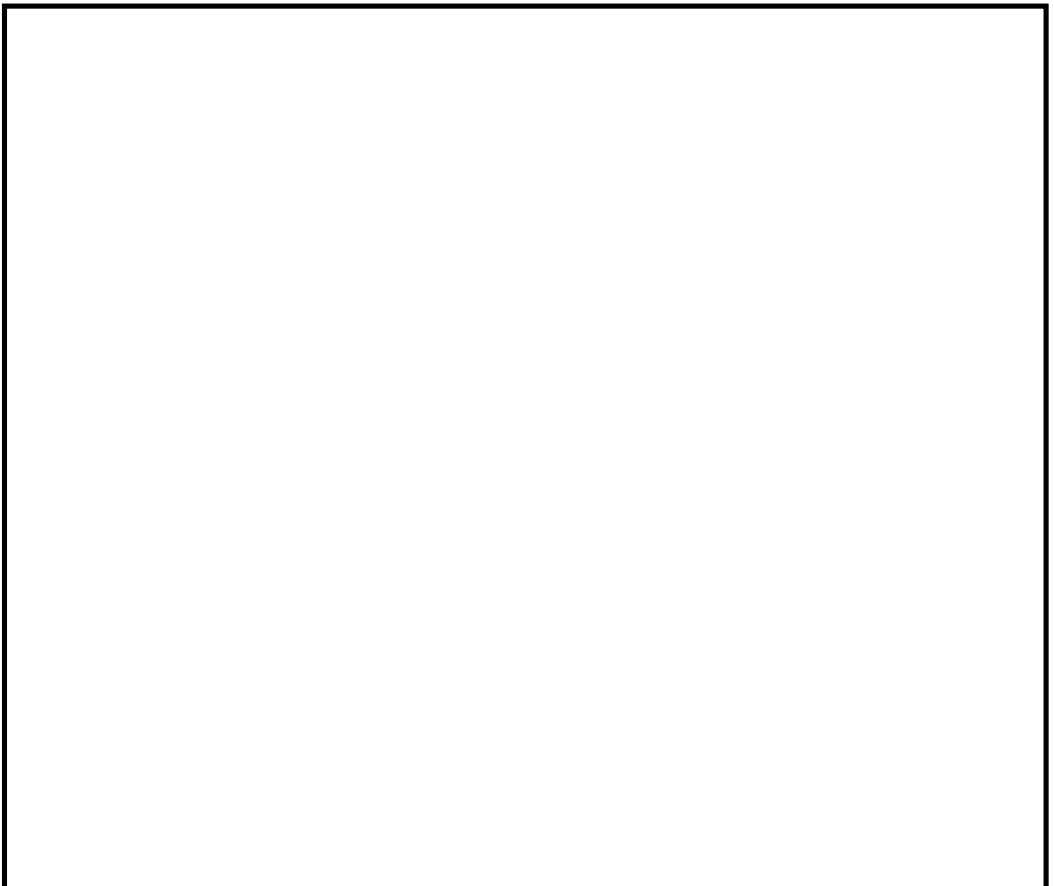
第 1.4.4-3 図 (3) 電源装置置場の断面図 (③-③断面)



第 1.4.4-3 図 (4) 電源装置置場の断面図 (④-④断面)



第 1.4.4-3 図 (5) 電源装置置場の断面図 (⑤-⑤断面)



第 1.4.4-3 図 (6) 電源装置置場の断面図 (⑥-⑥断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。
耐震評価候補断面の特徴を第 1.4.4-1 表に示す。

第 1.4.4-1 表 電源装置置場 耐震評価候補断面の特徴

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備
東西	①-①	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> ・強軸断面方向 ・耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる ・地上には構造部材が存在しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤及び第四紀層が概ね水平成層に分布 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油貯蔵タンク
	②-②	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・強軸断面方向 ・耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる 	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・常設代替高圧電源装置 ・水密扉
	③-③	同上	同上	同上	同上
	④-④	同上	同上	同上	同上
南北	⑤-⑤	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向 ・多層多連のボックスカルバート形状 	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・常設代替高圧電源装置 ・軽油貯蔵タンク
	⑥-⑥	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・弱軸断面方向 ・多層多連のボックスカルバート形状 ・耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる 	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・軽油貯蔵タンク

①-①断面は、東西方向の断面であり、EL. +2.0 m に軽油貯蔵タンクが設置されている。また、EL. -21.0 m に西側淡水貯水設備がある。地上部には構造部材が存在せず、地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接支持されている。

②-②断面は、東西方向の断面であり、EL. +11.0 m に常設代替高圧電源装置及び水密扉が設置されている。また、EL. -21.0 m に西側淡水貯水設備がある。構造物は、十分な支持性能を有する岩盤に直接支持されている。

③-③断面及び④-④断面の特徴は、②-②断面と同様である。

⑤-⑤断面は、多層多連のボックスカルバート形状となっており、EL. +11.0 m に常設

代替高圧電源装置が、EL. +2.0 mに軽油貯蔵タンクが設置されている。また、EL. -21.0 mに西側淡水貯水設備がある。構造物は、十分な支持性能を有する岩盤に直接支持されている。

⑥-⑥断面は、多層多連のボックスカルバート形状となっており、EL. +2.0 mに軽油貯蔵タンクが設置されている。また、EL. -21.0 mに西側淡水貯水設備がある。構造物は、十分な支持性能を有する岩盤に直接支持されている。

(2) 評価対象断面の選定

①-①断面は、東西方向の断面であり、耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮することができるため、強軸断面方向となる。さらに、①-①断面は、地上部に構造部材が存在しないことから、②-②断面、③-③断面及び④-④断面と比較して慣性力の影響が小さい。また、常設代替高圧電源装置が設置されないことから、⑤-⑤断面と比較して荷重が小さい。したがって、構造や荷重の条件から、他断面と比較して耐震裕度が見込めるため、①-①断面は評価対象断面としない。

②-②断面、③-③断面及び④-④断面は東西方向の断面であり、耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮することができるため、強軸断面方向となる。また、軽油貯蔵タンクが設置されないことから、⑤-⑤断面と比較して荷重が小さく、水密扉については常設代替高圧電源装置と比較して荷重が小さい。したがって、構造や荷重の条件から、他断面と比較して耐震裕度が見込めるため、②-②断面、③-③断面及び④-④断面は評価対象断面としない。

⑤-⑤断面は、南北方向の断面であり、多層多連のボックスカルバート状のラーメン構造である。東西方向断面である①-①断面、②-②断面、③-③断面及び④-④断面と比較して耐震評価上、変形抑制効果を考慮できる壁部材が少なく、耐震評価上の弱軸断面方向となる。また、常設代替高圧電源装置及び軽油貯蔵タンクが設置される。

⑥-⑥断面は、⑤-⑤断面と同様に多層多連のボックスカルバート状のラーメン構造であるが、周囲を側壁及び隔壁に囲われており、これらを耐震評価上の耐震壁として変形抑制効果を考慮することができる。また、常設代替高圧電源装置が設置されないことから、⑤-⑤断面と比較して荷重が小さい。したがって、構造や荷重の条件から、⑤-⑤断面と比較して耐震裕度が見込めるため、⑥-⑥断面は評価対象断面としない。

(3) 断面選定結果

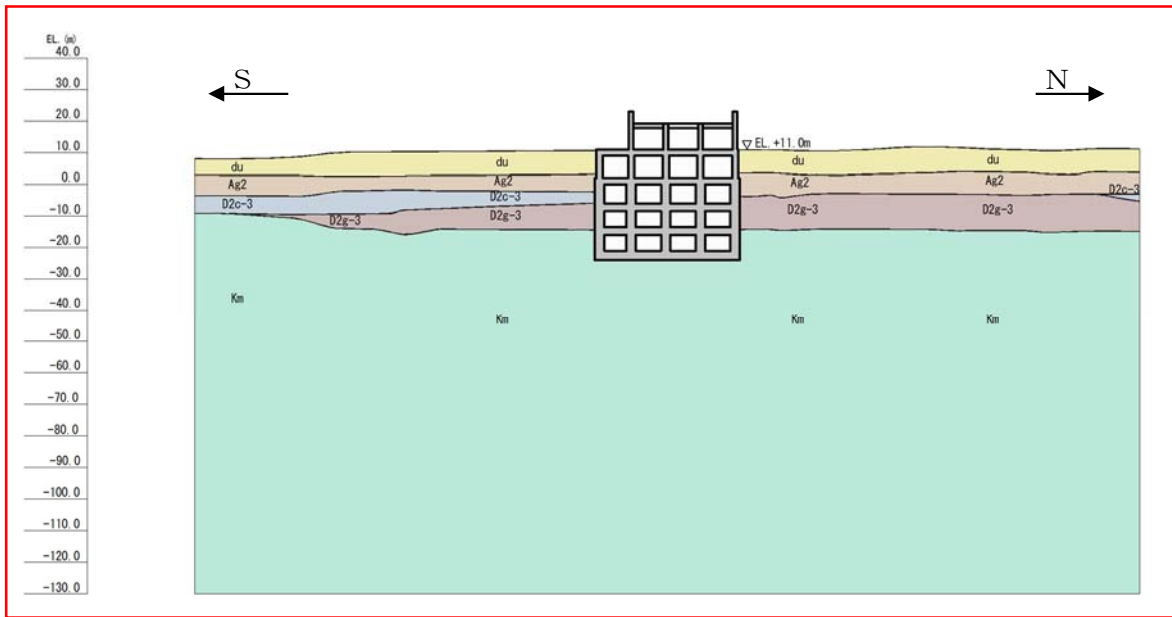
(2)より、南北方向の⑤-⑤断面を評価対象断面とする。評価対象断面の選定結果を第1.4.4-2表に、評価対象断面を第1.4.6-5図に示す。

ただし、機器・配管系への加速度応答算出の観点から、強軸断面方向である東西方向の断面として電源装置置場横幅範囲の側壁及び隔壁の剛性を考慮した等価剛性断面について、地震応答解析を実施する。

第 1.4.4-2 表 電源装置置場 評価対象断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備	既工認 評価断面	今回工認 評価断面	選定結果
東西	①-①	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 強軸断面方向 耐震評価上, 側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる 地上には構造部材が存在しない 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層が概ね水平成層に分布 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油貯蔵タンク 	-	-	強軸断面方向であるため評価対象断面としない
	②-②	同上	<ul style="list-style-type: none"> 強軸断面方向 耐震評価上, 側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 常設代替高圧電源装置 水密扉 	-	-	同上
	③-③	同上	同上	同上	同上	-	-	同上
	④-④	同上	同上	同上	同上	同上	-	-
南北	⑤-⑤	同上	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 多層多連のボックスカルバート形状 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 常設代替高圧電源装置 軽油貯蔵タンク 	-	○	弱軸断面方向であることから評価対象断面に選定
	⑥-⑥	同上	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 多層多連のボックスカルバート形状 耐震評価上, 側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できる 	同上	<ul style="list-style-type: none"> 軽油貯蔵タンク 	-	-	弱軸断面方向であるが, ⑤-⑤断面と比較して耐震壁の変形抑制効果を考慮できるため評価対象断面としない

○：耐震評価を実施 -：耐震評価を省略



第 1.4.6-5 図 電源装置置場の評価対象断面 (⑤-⑤断面)

1.4.5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の断面選定の考え方

第 1.4.5-1 図及び第 1.4.5-2 図に常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）（以下、「トンネル」という。）の平面配置図及び断面図を示す。

トンネルは、軽油移送配管、水配管及び電気ケーブルを間接支持する鉄筋コンクリート構造物であり、延長約 140 m である。トンネルの形状は全長にわたり内径 4.6 m、覆工 1.2 m の円形断面となっており、延長方向に対して一定間隔に分割して施工する。構造物は十分な支持性能を有する岩盤内に設置する。

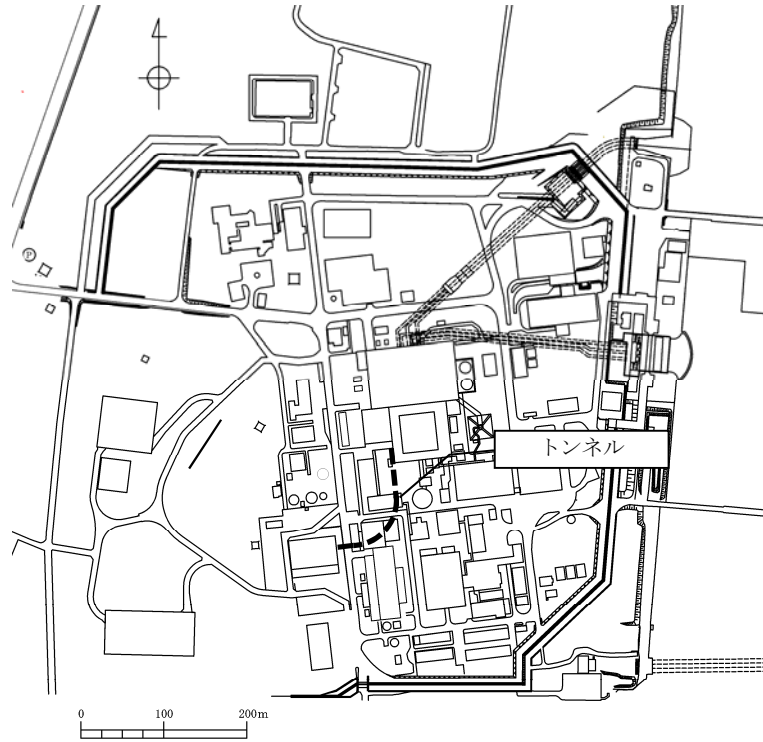
(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。

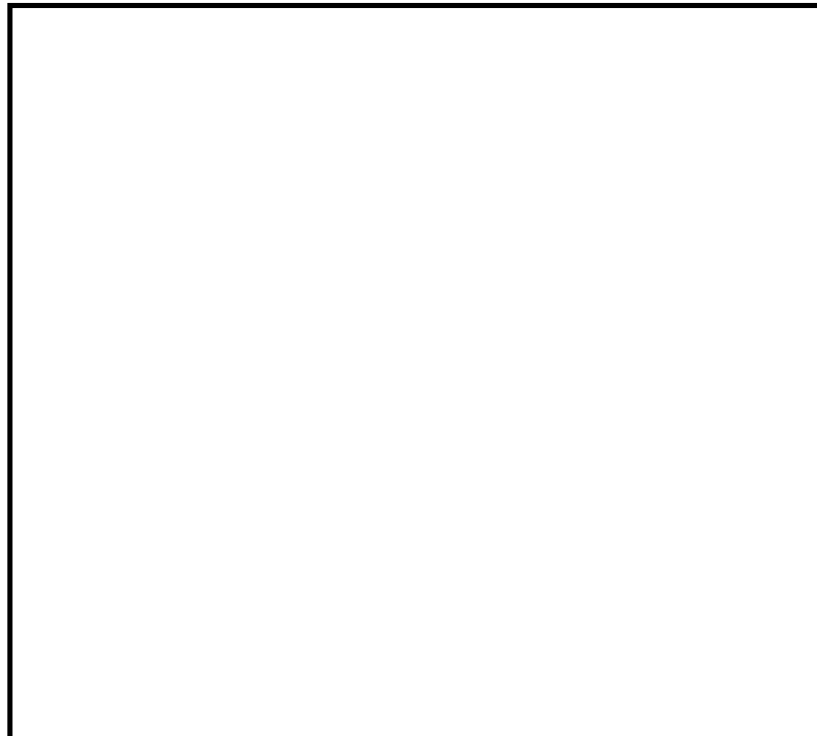
トンネルは間接支持する設備が縦断方向に一様に設置されているため、機器・配管の設置位置による影響は考慮する必要はない。また、横断断面形状及び配筋も縦断方向に一様であるため、構造・配筋の変化による影響を考慮する必要はない。

耐震評価候補断面の特徴を第 1.4.5-1 表に示す。

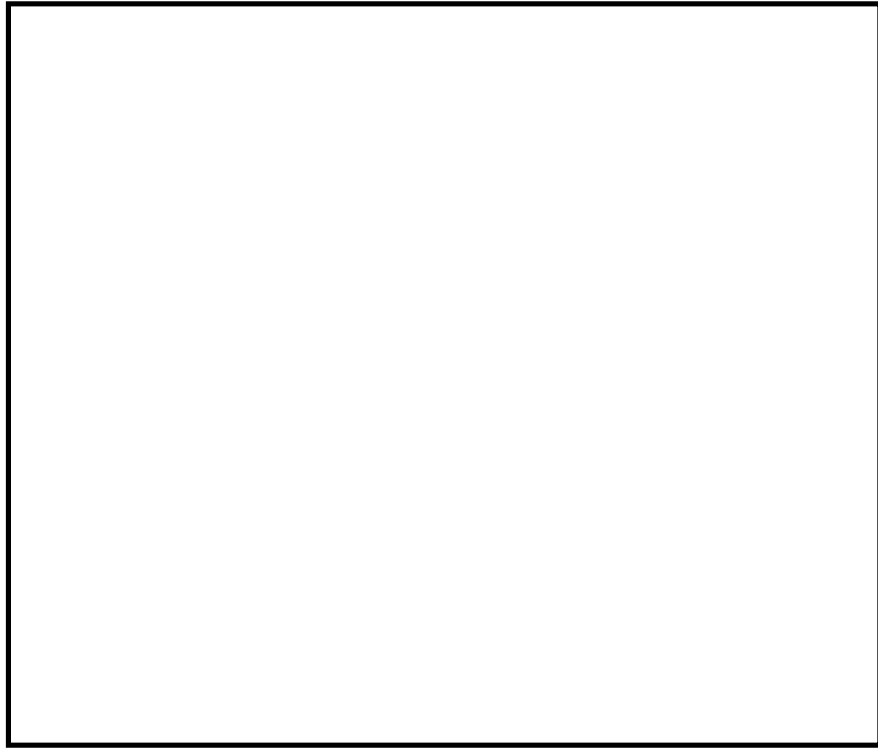
前述の通り、トンネルは全線にわたり一定間隔でブロック割されており、縦断方向の応力は区画毎に解放される。また、縦断方向のブロック毎の相対変位に対しては、岩盤に設置されているため小さい。したがって、評価対象断面としてはトンネル横断方向とする。



第 1.4.5-1 図 (1) トンネル 平面配置図 (全体平面図)



第 1.4.5-1 図 (2) トンネル 平面配置図 (拡大図)



第 1.4.5-2 図 トンネル 標準断面図 (①-①断面)

トンネルの構造及び機器配置は縦断方向に対して同一であるが、周辺地質状況は断面位置によって異なる。地震時においては、トンネルの土被り深さ及び周辺の地質状況の影響が支配的であると考えられることから、トンネル縦断断面の複数地点にて基準地震動 S_0 による1次元地震応答解析を実施し、その結果に基づいて評価断面を選定する。

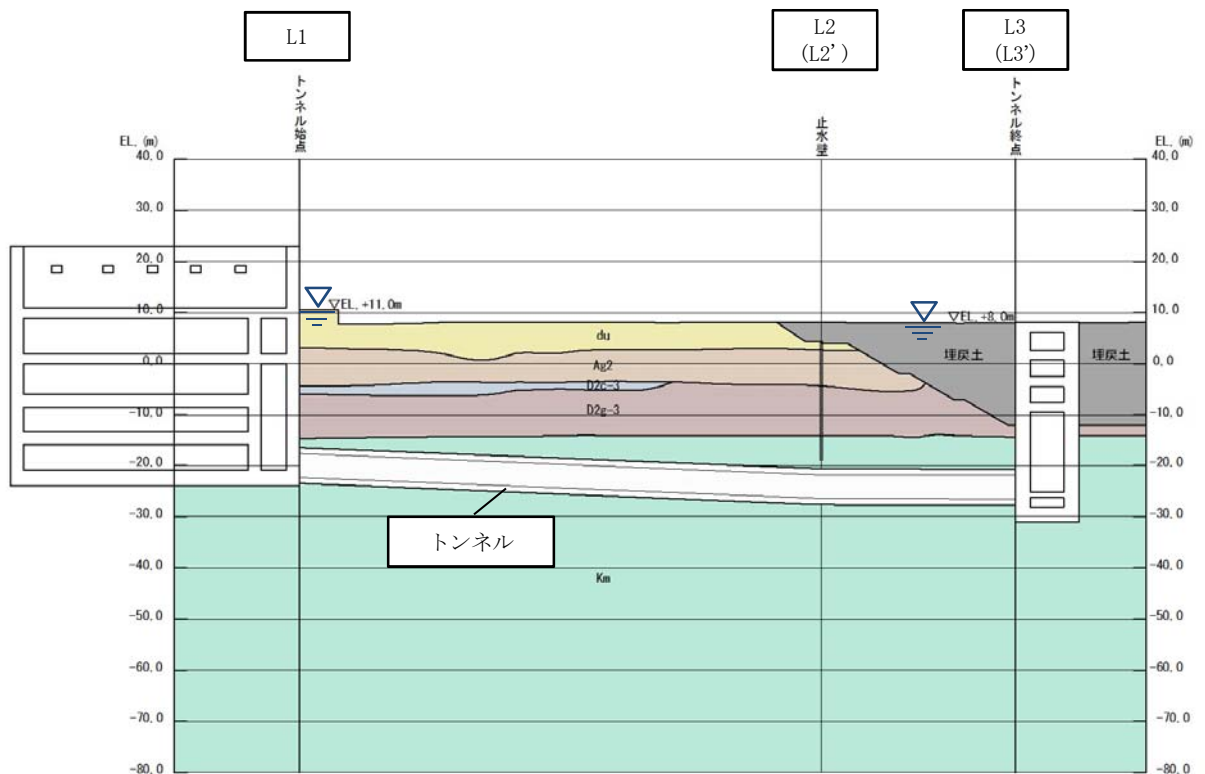
トンネルの縦断断面及び耐震評価候補断面位置を第1.4.5-3図に示す。トンネルの深さは始点(L1地点)が最も浅く、終点(L3地点)位置が最も深くなっている。トンネルの縦断勾配はL1地点から止水壁位置(L2地点)近傍まで4.1%であり、L2地点近傍からL3位置まで0.4%である。周辺地盤は、水平成層に近い状態で分布しており、終点付近には埋戻土が分布している。

以下に、耐震評価候補断面(1次元地震応答解析の実施位置)の特徴を述べる。

トンネル始点であるL1地点は、トンネル区間においてトンネルの深さが最も浅い位置である。

止水壁位置であるL2地点は、トンネルの縦断勾配の変化点近傍である。L1地点と比べてトンネルの深さが深く、トンネル終点であるL3地点と比べて埋戻土の層厚が薄い位置である。

トンネル終点であるL3地点は、トンネルの深さが最も深く、埋戻土の層厚が最も厚い位置である。



第1.4.5-3 トンネル 耐震評価候補断面位置

第 1.4.5-1 表 トンネル 耐震評価候補断面の特徴

地点	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備
トンネル 始点 L1	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル ・ トンネル深さが浅い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 軽油移送配管 ・ 水配管 ・ 電気ケーブル
止水壁 位置 L2	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル ・ トンネル深さが深い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 ・ 埋戻土の層厚が薄い 	同上
トンネル 終点 L3	同上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル ・ トンネル深さが最も深い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 埋戻土の層厚が最も厚い 	同上

(2) 評価対象断面の選定

各耐震評価候補断面位置において1次元地震応答解析を実施し、トンネル覆工軸線の上端と下端の相対変位を確認する。評価に使用する地震波は、全周期帯にわたって加速度応答スペクトルが大きい S_s-D1 を代表波として用いる。

第1.4.5-2表に1次元地震応答解析結果を示す。

L1地点とL2地点の結果を比較すると、トンネル深さが深いL2地点の方が相対変位は大きくなる傾向にある。一方、L2地点とL3地点の結果を比較すると、埋戻土の層厚が薄いL2地点の方が相対変位は大きくなる傾向にある。

これらのことから、トンネル位置が深くなるとトンネルの耐震評価が厳しくなる傾向になることが考えられる。同様に、埋戻土の層厚が薄くなるとトンネルの耐震評価が厳しくなる傾向になることが考えられる。

そこで、L2地点の地層構成において、トンネル位置を最も深い位置に設定した1次元地震応答解析モデル(L2'モデル)と、L3地点における埋戻土の層厚を最も薄くした1次元地震応答解析モデル(L3'モデル)を作成して1次元地震応答解析を実施した結果、L3'モデルにおける最大相対変位が最大となった。

第1.4.5-2表 1次元地震応答解析結果(S_s-D1)

地点	トンネル 上端標高 * EL. (m)	トンネル 下端標高 * EL. (m)	トンネル上端と下端の 最大相対変位 (mm)
トンネル始点 L1	-17.1	-22.9	4.06
止水壁位置 L2	-21.2	-27.0	4.86
トンネル終点 L3	-21.4	-27.2	3.56
止水壁位置 L2'	-21.4	-27.2	4.87
トンネル終点 L3'	-21.4	-27.2	5.02

注記 * : トンネル覆工軸線における値

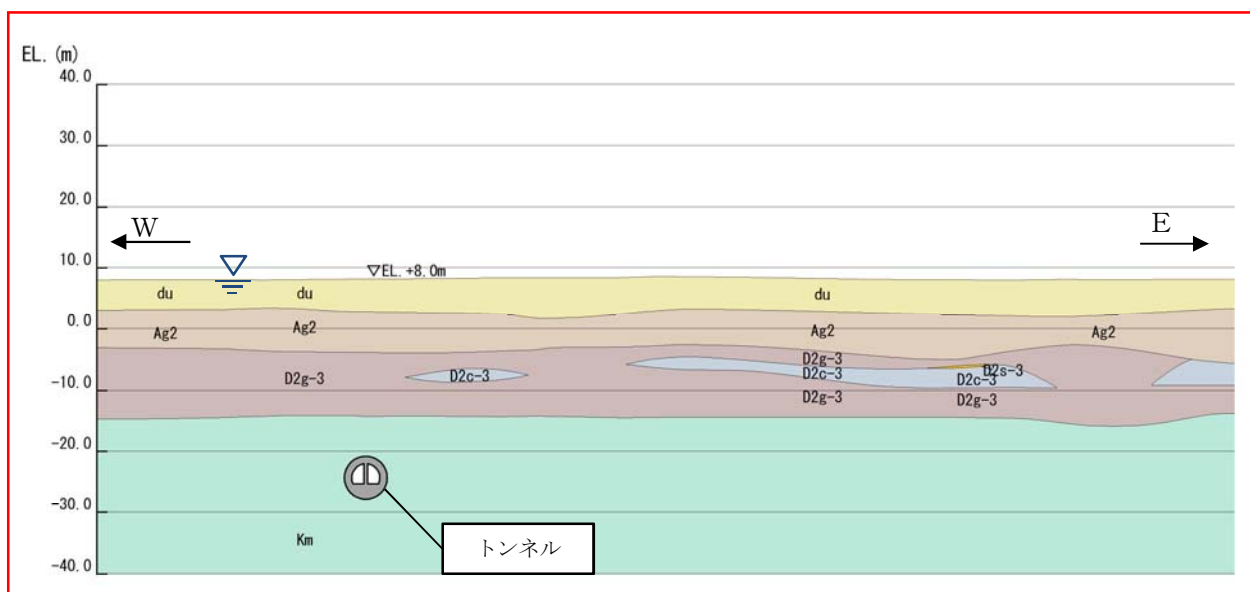
(3) 断面選定結果

(2)より，1次元地震応答解析結果の最大相対変位が最も大きいL3'モデルを評価対象とする。評価対象断面の選定結果を第1.4.5-3表に，評価対象断面図を第1.4.5-4図に示す。

第 1.4.5-3 表 トンネル 評価対象断面の選定結果

地点	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備	既工認評価断面	今回工認評価断面	選定結果
トンネル 始点 L1	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル トンネル深さが浅い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油移送配管 水配管 電気ケーブル 	—	—	1 次元地震応答解析結果により, 評価対象断面としない
止水壁 位置 L2	同上	<ul style="list-style-type: none"> 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル トンネル深さが深い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 埋戻土の層厚が薄い 	同上	—	—	同上
トンネル 終点 L3	同上	<ul style="list-style-type: none"> 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル トンネル深さが最も深い 	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土の層厚が最も厚い 	同上	—	—	同上
止水壁 位置 L2'	同上	<ul style="list-style-type: none"> 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル トンネル深さが最も深い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 埋戻土の層厚が薄い 	同上	—	—	同上
トンネル 終点 L3'	同上	<ul style="list-style-type: none"> 内径 4.6 m, 覆工厚 1.2 m の円形トンネル トンネル深さが最も深い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層がほぼ水平成層に分布 	同上	—	○	1 次元地震応答解析結果により, 評価対象断面とする

○：耐震評価を実施 —：耐震評価を省略



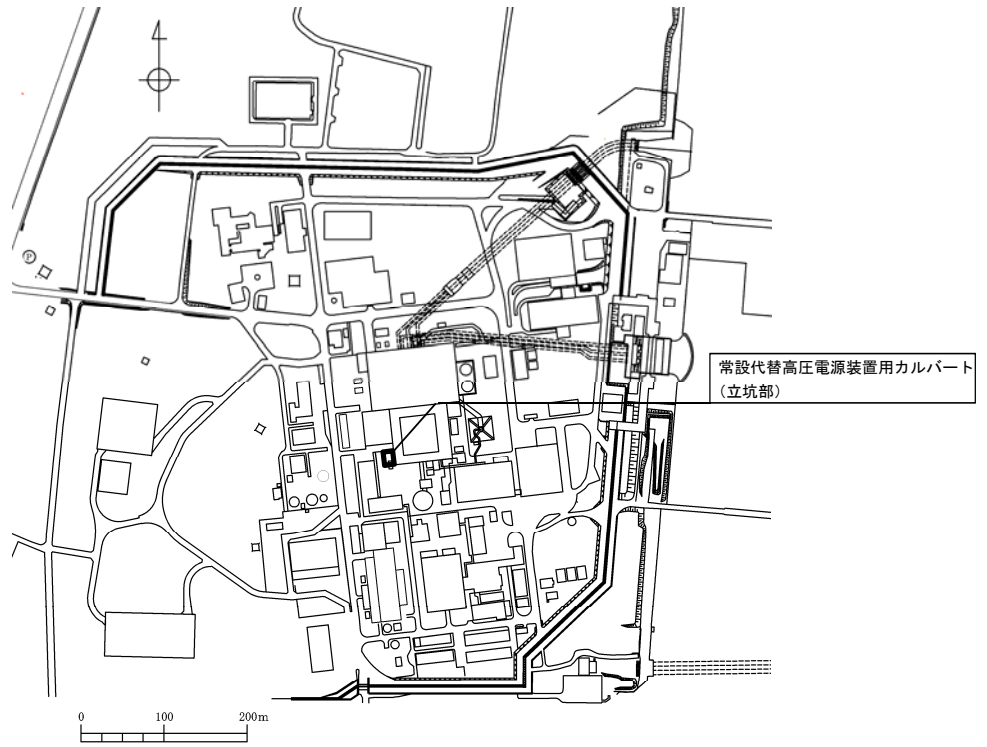
第 1. 4. 5-4 図 トンネルの評価対象断面図 (L3')

1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の断面選定の考え方

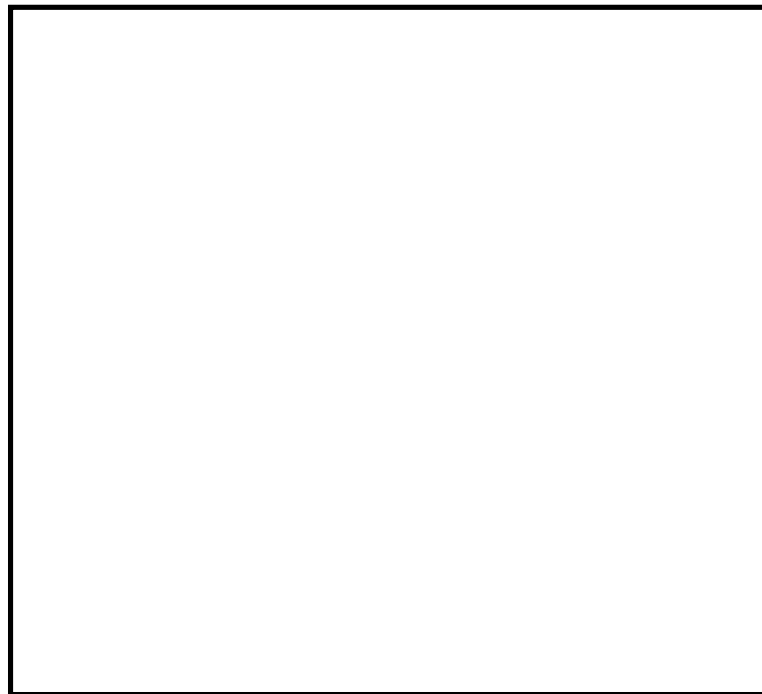
第 1.4.6-1 図に常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）（以下、「立坑」という。）の平面配置図を示す。また、第 1.4.6-2 図、第 1.4.6-3 図及び第 1.4.6-4 図に立坑の平面図及び断面図を示す。

立坑は、軽油移送配管、水配管及び電気ケーブルの間接支持機能を有する。

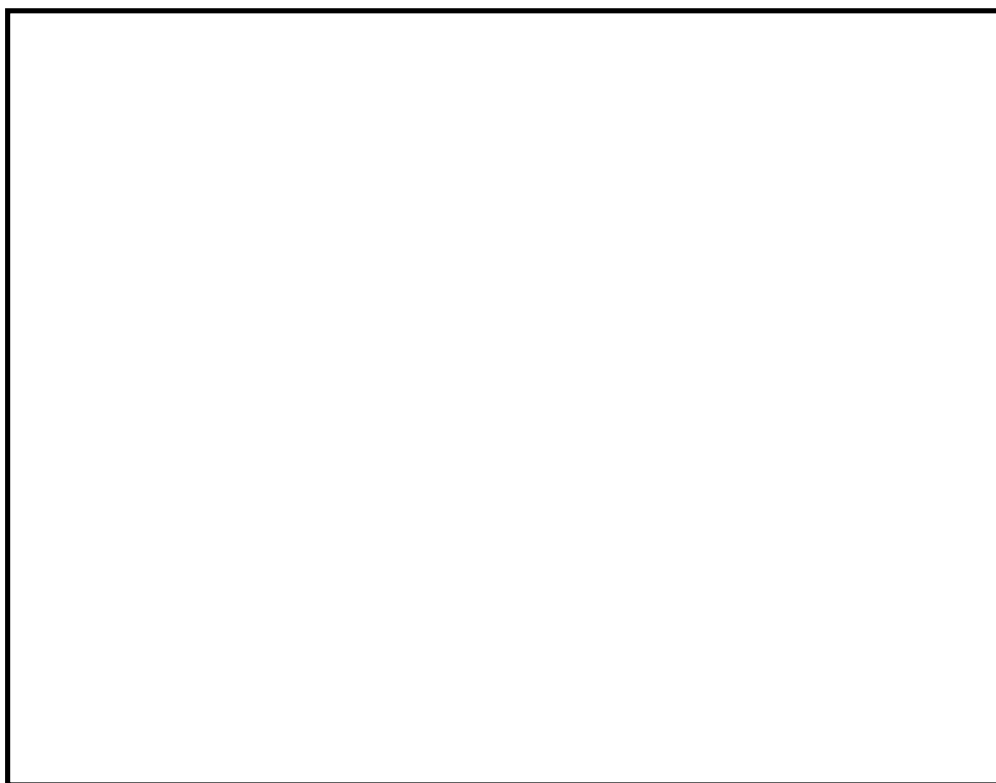
立坑は、南北方向 12.5 m、東西方向 16.5 m、高さ 39.3 m の鉄筋コンクリート構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置する。



第 1.4.6-1 図 (1) 立坑の平面配置図 (全体平面図)



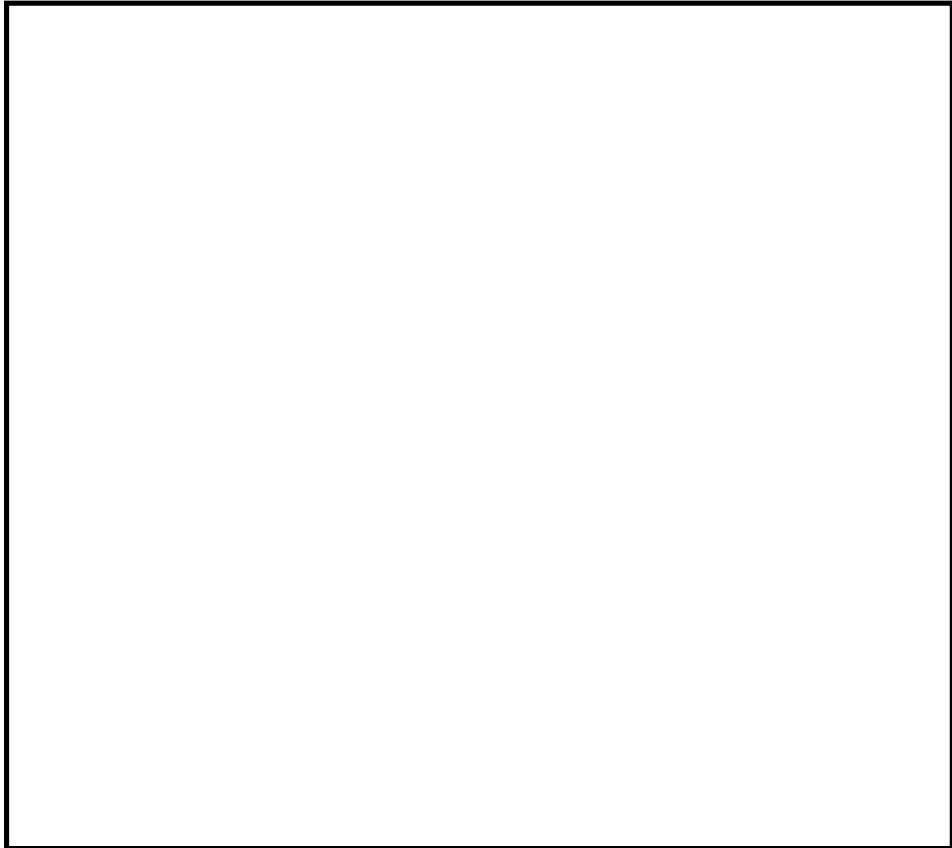
第 1.4.6-1 図 (2) 立坑の平面配置図 (拡大図)



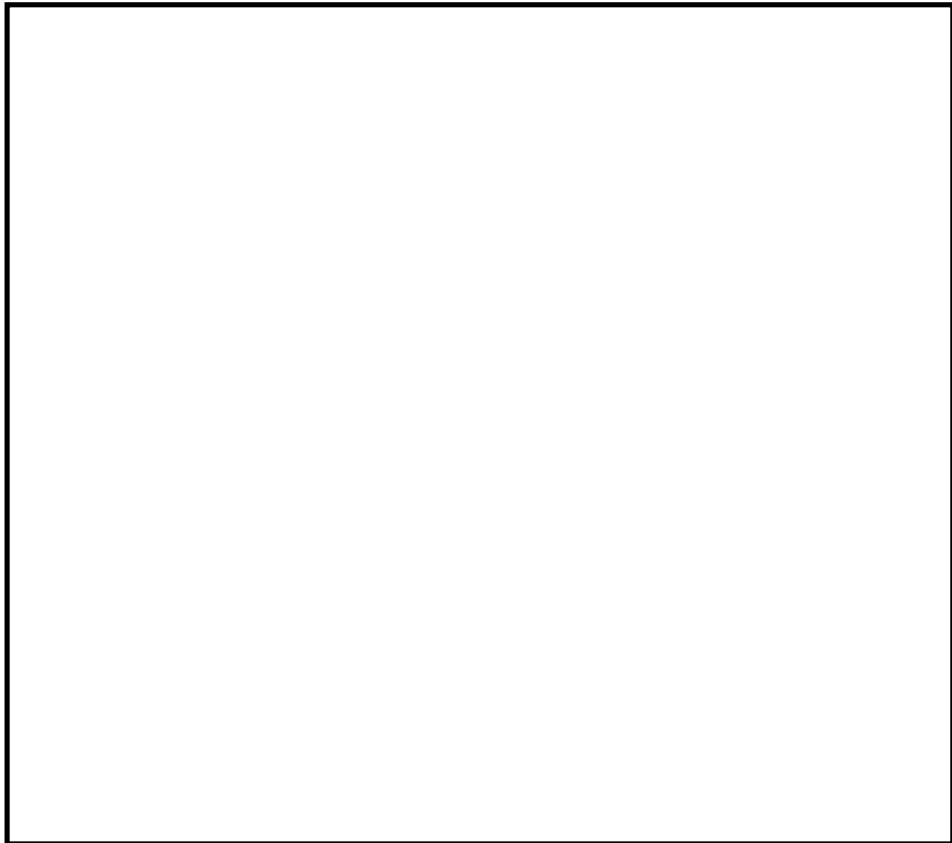
第 1.4.6-2 図 立坑の平面図



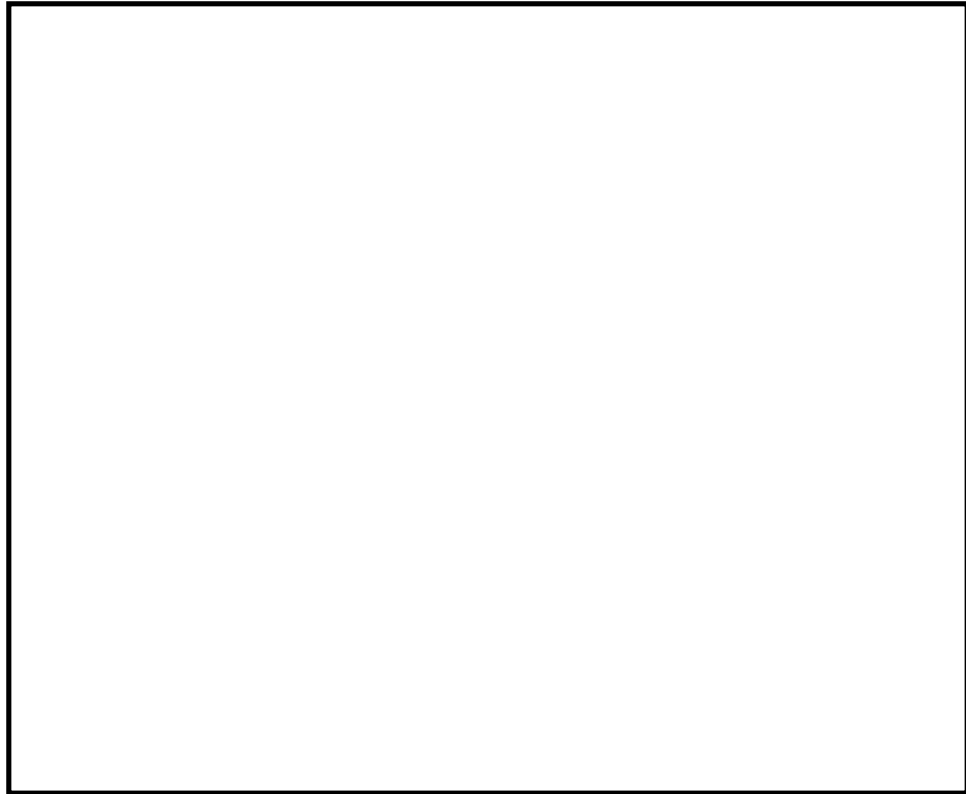
第 1.4.6-3 図 (1) 立坑の断面図 (南北方向 ①—①断面)



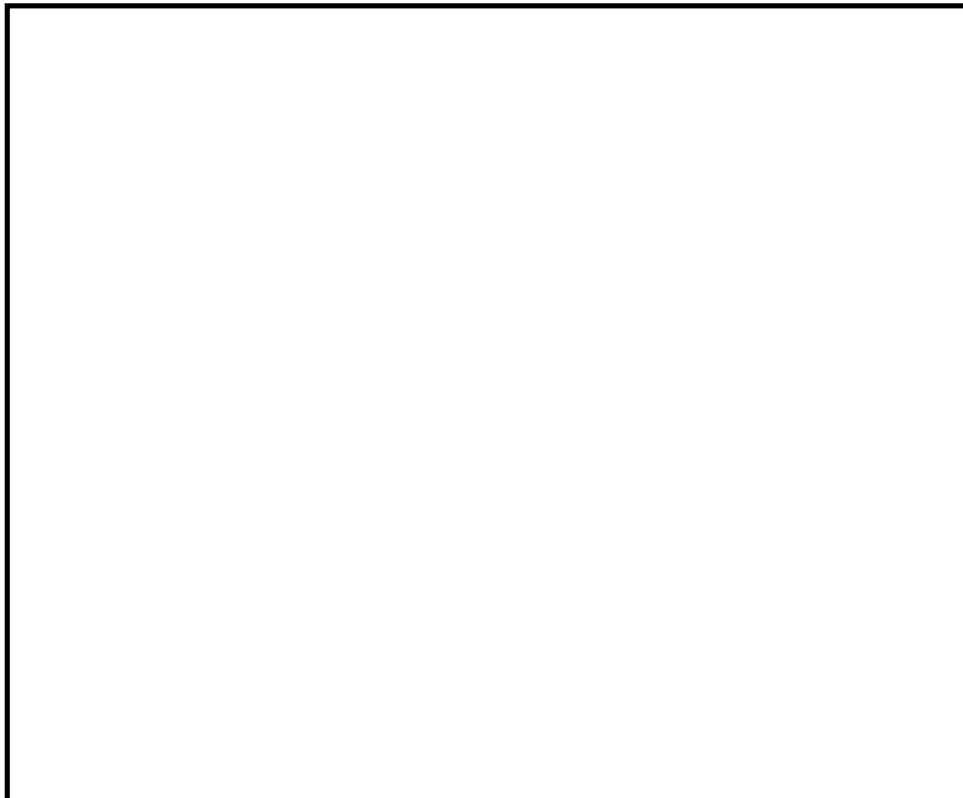
第 1. 4. 6-3 図 (2) 立坑の断面図 (南北方向 ②-②断面)



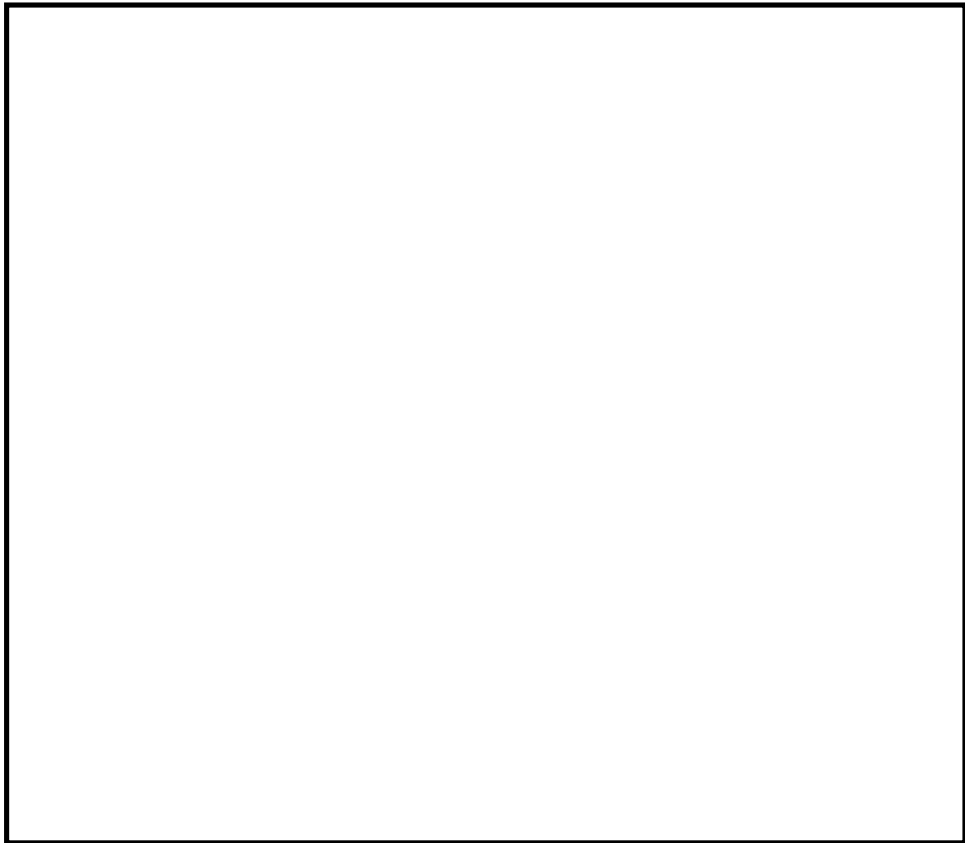
第 1. 4. 6-3 図 (3) 立坑の断面図 (南北方向 ③-③断面)



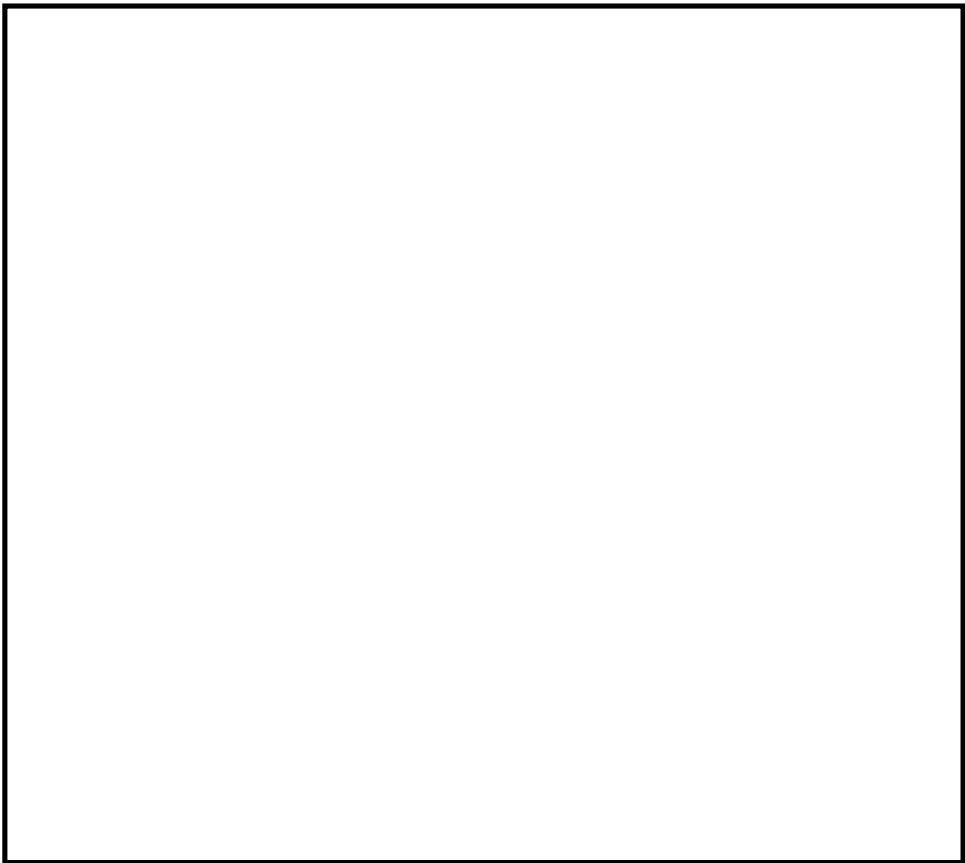
第 1. 4. 6-3 図 (4) 立坑の断面図 (南北方向 ④-④断面)



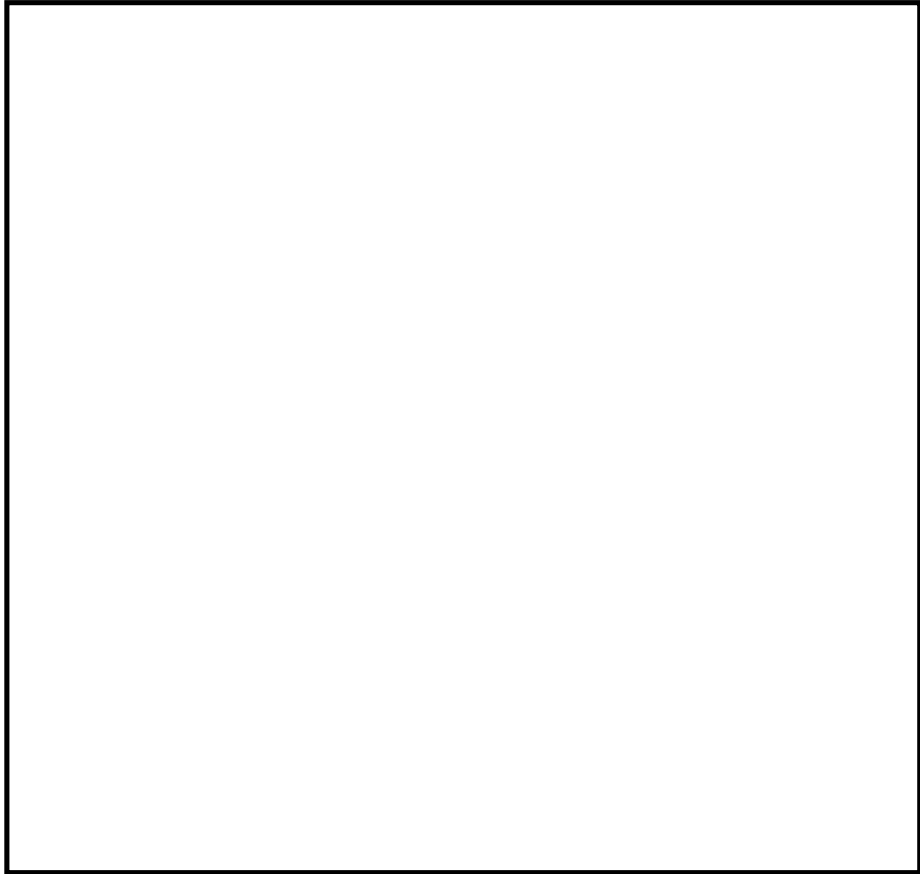
第 1. 4. 6-3 図 (5) 立坑の断面図 (南北方向 ⑤-⑤断面)



第 1. 4. 6-4 図 (1) 立坑の断面図 (東西方向 ⑥-⑥断面)



第 1. 4. 6-4 図 (2) 立坑の断面図 (東西方向 ⑦-⑦断面)



第 1.4.6-4 図 (3) 立坑の断面図 (東西方向 ⑧-⑧断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。
耐震評価候補断面の特徴を第1.4.6-1表に示す。

第1.4.6-1表 立坑 耐震評価候補断面の特徴

方向	断面	要求性能	構造的特徴	間接支持する設備
南北	①-①	間接支持	・壁位置の断面 ・開口部がない	—
	②-②	同上	・開口部がある ・耐震評価上、側壁（①-①断面及び③-③断面）の変形抑制効果が考慮できる	・軽油移送配管 ・水配管 ・電気ケーブル
	③-③	同上	・壁位置の断面 ・開口部がある	—
	④-④	同上	・開口部がある ・耐震評価上、側壁（③-③断面及び⑤-⑤断面）の変形抑制効果が考慮できる	・軽油移送配管 ・水配管 ・電気ケーブル
	⑤-⑤	同上	・壁位置の断面 ・開口部がある	—
東西	⑥-⑥	同上	・壁位置の断面 ・開口部がある	—
	⑦-⑦	同上	・開口部がある ・耐震評価上、側壁（⑥-⑥断面及び⑧-⑧断面）の変形抑制効果が考慮できる	・軽油移送配管 ・水配管 ・電気ケーブル
	⑧-⑧	同上	・壁位置の断面 ・開口部がある	—

①-①断面、②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面は南北方向の断面である。

①-①断面は、壁位置の断面である。

②-②断面は、壁位置の①-①断面及び③-③断面に挟まれた多層のボックスカルバート状の断面である。①-①断面及び③-③断面の耐震壁としての変形抑制効果を考慮することができる。

③-③断面は、壁位置の断面である。

④-④断面は、壁位置の③-③断面及び⑤-⑤断面に挟まれた多層のボックスカルバート状の断面である。③-③断面及び⑤-⑤断面の耐震壁としての変形抑制効果を考慮することができる。

⑤-⑤断面は、壁位置の断面である。常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート

部)との接続箇所に開口部がある。

⑥-⑥断面, ⑦-⑦断面及び⑧-⑧断面は東西方向の断面である。

⑥-⑥断面は, 壁位置の断面である。常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部)との接続箇所に開口部がある。

⑦-⑦断面は, 壁位置の⑥-⑥断面及び⑧-⑧断面に挟まれた多層のボックスカルバート状の断面である。⑥-⑥断面及び⑧-⑧断面の耐震壁としての変形抑制効果を考慮することができる。

⑧-⑧断面は, 壁位置の断面である。常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部)との接続箇所に開口部がある。

(2) 評価対象断面の選定

立坑は矩形立坑であり, 立坑幅は12.5 m(南北方向), 16.5 m(東西方向)の箱形構造物であることから, 耐震評価上, 側壁及び中壁の変形抑制効果を考慮することができる。

立坑は, 強軸及び弱軸の区別が線状構造物のように明確でないことから, 評価対象断面としては南北方向断面及び東西方向断面をいずれも対象とする。

立坑の南北方向については, ①-①断面の側壁, ③-③断面の中壁及び⑤-⑤断面の側壁を耐震壁として考慮することができる。したがって, ②-②断面及び④-④断面に, ①-①断面, ③-③断面及び⑤-⑤断面の耐震壁としての変形抑制効果を考慮した等価剛性断面について耐震評価を行う。

立坑の東西方向については, ⑥-⑥断面の側壁及び⑧-⑧断面の側壁を耐震壁としての変形抑制効果を考慮することができる。したがって, ⑦-⑦断面に, ⑥-⑥断面及び⑧-⑧断面の耐震壁としての変形抑制効果を考慮した等価剛性断面について耐震評価を行う。

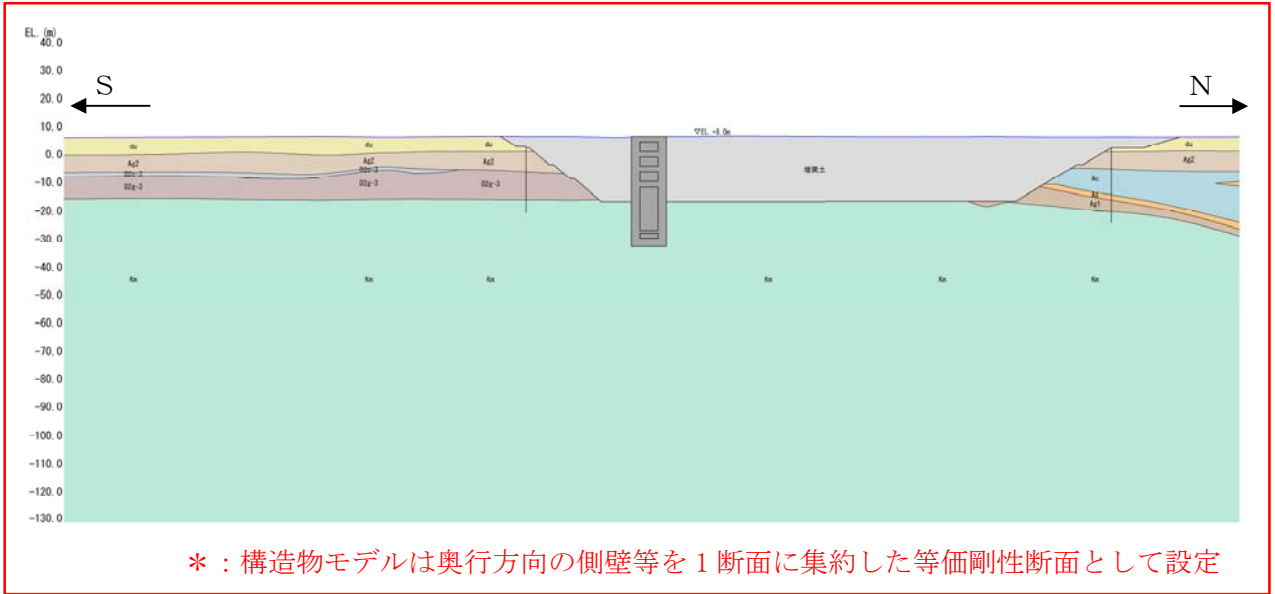
(3) 断面選定結果

(2)より, 南北方向及び東西方向ともに, 1断面に集約した等価剛性断面を評価対象断面とする。評価対象断面の選定結果を第1.4.6-2表に, 評価対象断面を第1.4.6-5図に示す。

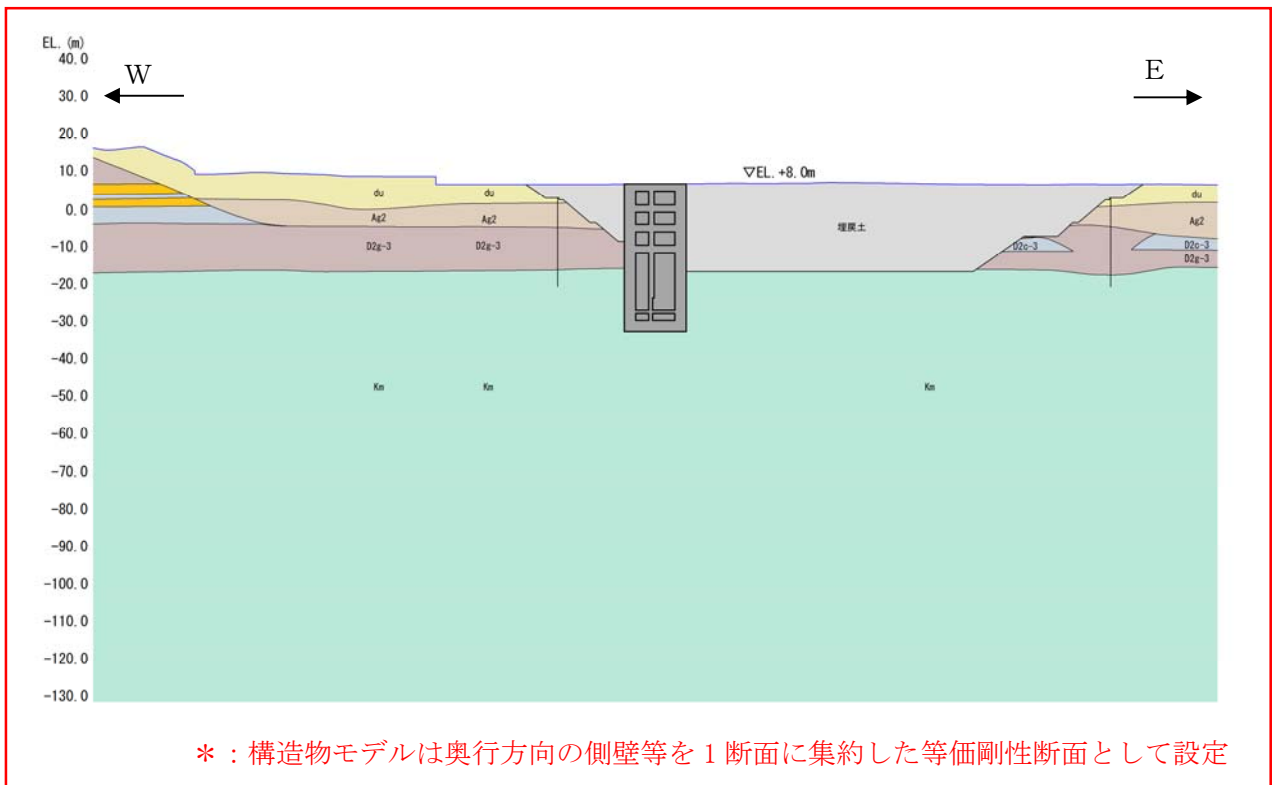
第 1.4.6-2 表 立坑 評価対象断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	間接支持する設備	既工認 評価断面	今回工認 評価断面	選定結果
南北	①-① ～ ⑤-⑤	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 耐震評価上，側壁及び中壁の変形抑制効果を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油移送配管 水配管 電気ケーブル 	—	○	①-①断面～⑤-⑤断面を 1 断面に集約した等価剛性断面として考える
東西	⑥-⑥ ～ ⑧-⑧	同上	<ul style="list-style-type: none"> 耐震評価上，側壁の変形抑制効果を検討 	同上	—	○	⑥-⑥断面～⑧-⑧断面を 1 断面に集約した等価剛性断面として考える

○：耐震評価を実施 —：耐震評価を省略



第 1.4.6-5 図 (1) 立坑の評価対象断面 (南北方向断面)



第 1.4.6-5 図 (2) 立坑の評価対象断面 (東西方向断面)

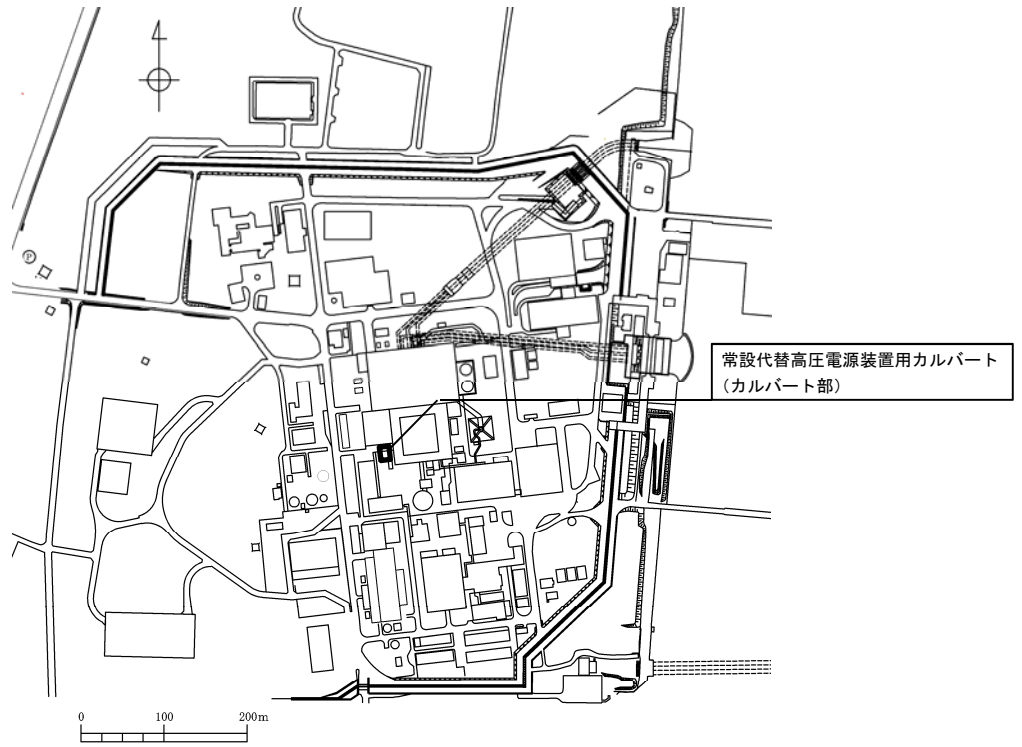
1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の断面選定の考え方

第1.4.7-1図に常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）（以下、「カルバート」という。）の平面配置図を示す。また、第1.4.7-2図及び第1.4.7-3図に、カルバートの平面図及び断面図を示す。

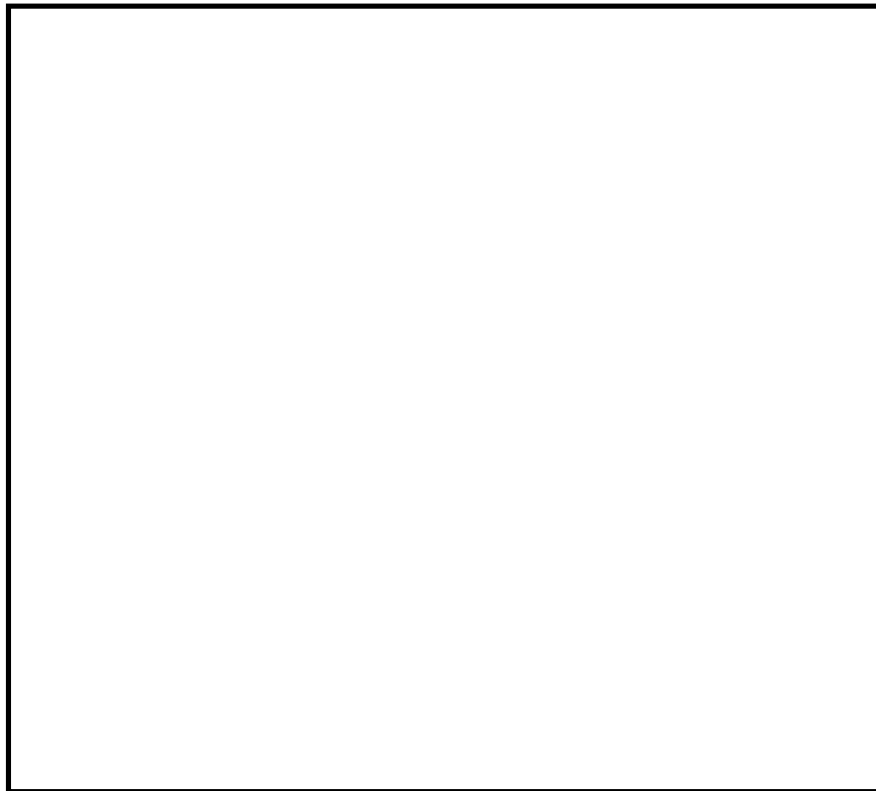
カルバートは、軽油移送配管、水配管及び電気ケーブルの間接支持機能を有する。

カルバートは、軽油移送配管を支持するカルバート（以下、「軽油カルバート」という。）と水配管及び電気ケーブルを支持するカルバート（以下、「水電気カルバート」という。）の2つの構造物に大別される。軽油カルバートは1層1連カルバート状の鉄筋コンクリート構造物であり、延長5.0 m、幅5.5 m、高さ4.8 mである。構造物は、杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

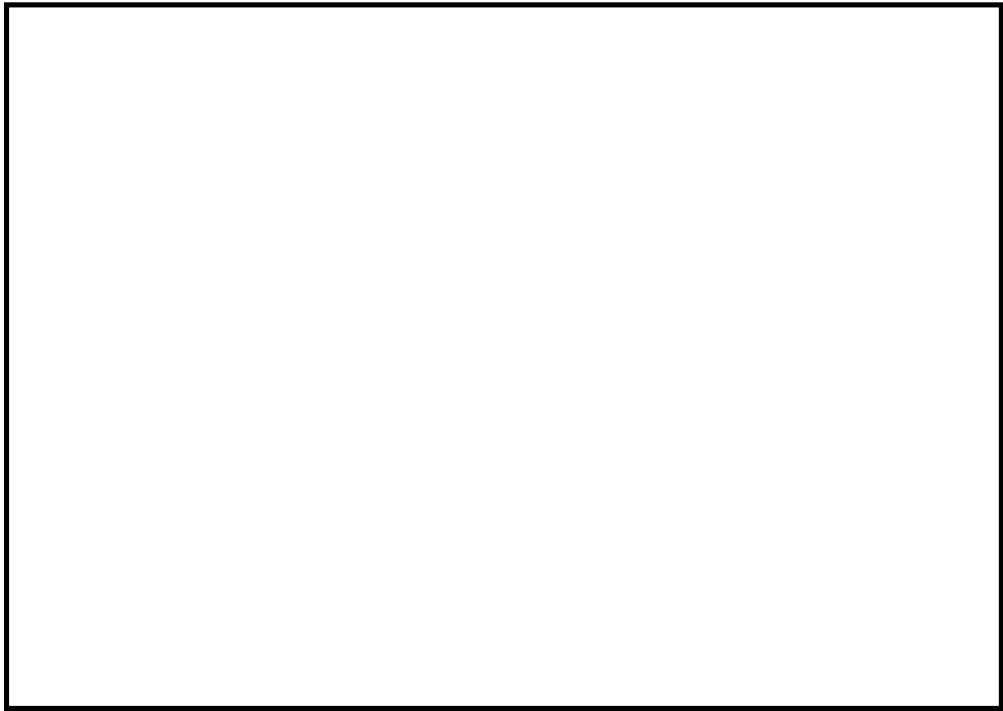
水電気カルバートは1層3連カルバート状の鉄筋コンクリート構造物であり、延長約35 m、幅13.9 m、高さ5.2 mである。構造物は、杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。



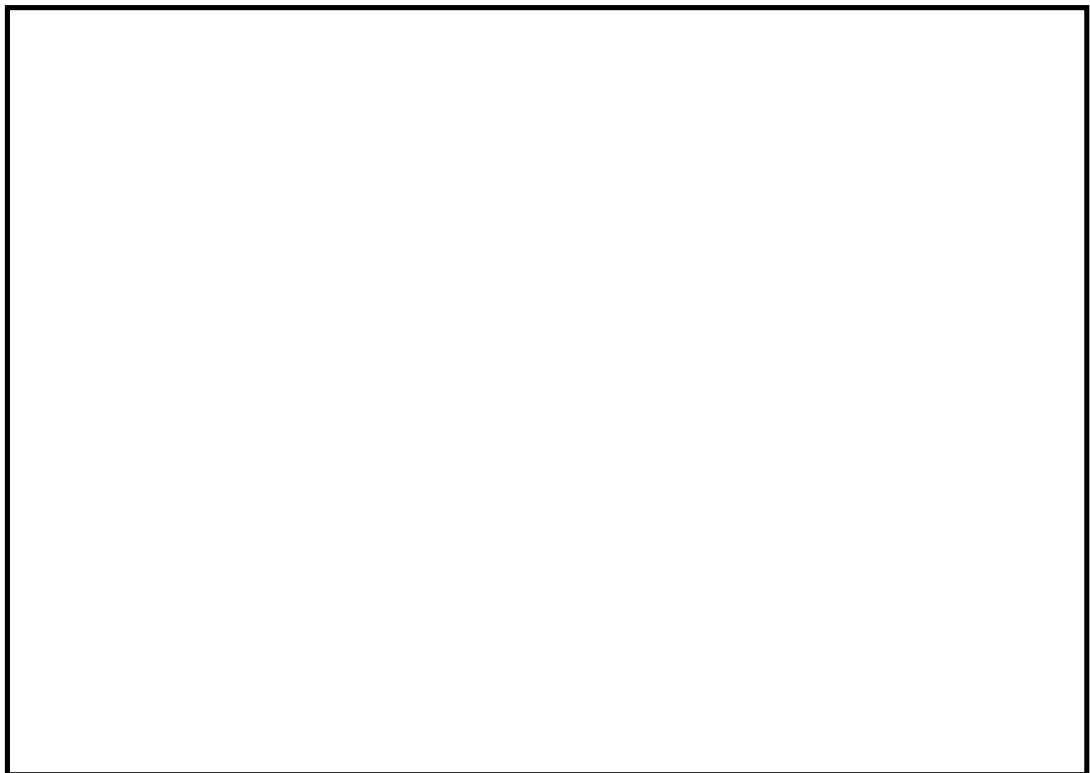
第 1.4.7-1 図 (1) カルバートの平面配置図 (全体平面図)



第 1.4.7-1 図 (2) カルバートの平面配置図 (拡大図)



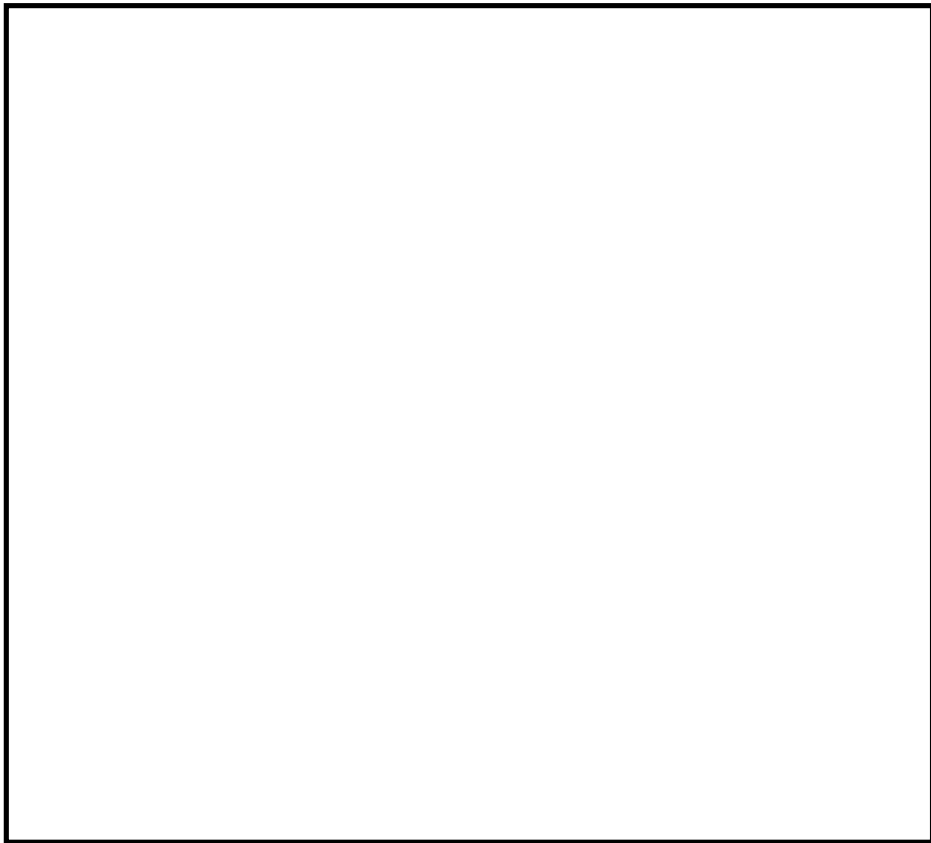
第 1.4.7-2 図 カルバートの平面図



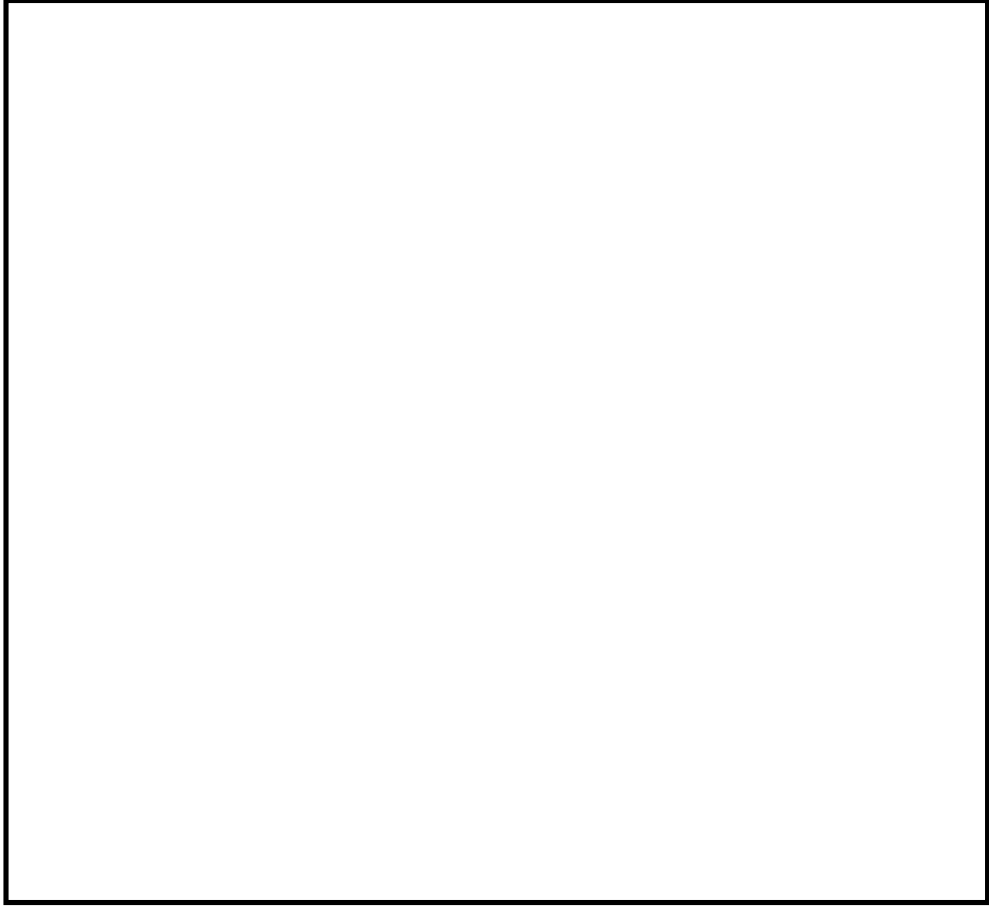
第 1.4.7-3 図 (1) カルバートの断面図 (①—①断面)



第 1.4.7-3 図 (2) カルバートの断面図 (②-②断面)



第 1.4.7-3 図 (3) カルバートの断面図 (③-③断面)



第 1.4.7-3 図 (4) カルバートの断面図 (④-④断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①耐震評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。
耐震評価候補断面の特徴を第 1.4.7-1 表に示す。

第 1.4.7-1 表 カルバート 耐震評価候補断面の特徴

方向	断面	要求性能	構造的特徴	間接支持する設備
南北	①-①	間接支持	・杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置	・軽油移送配管 ・水配管 ・電気ケーブル
	②-②	同上	・杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 ・立坑が隣接	・水配管 ・電気ケーブル
	③-③	同上	・杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 ・立坑が隣接 ・耐震評価上、中壁の変形抑制効果を考慮できる	同上
	④-④	同上	・杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 ・立坑が隣接 ・中壁位置の断面	同上

カルバートの東西方向については、東側に堅固な原子炉建屋が存在し地震時の変形が拘束されることや、耐震評価上、変形抑制効果を考慮できる壁部材が多く存在することから強軸断面方向と考えられる。よって、弱軸断面方向である南北方向について整理を行った。

①-①断面は軽油移送配管及び水・電気配管を間接支持するカルバート 2 基が含まれる。杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に支持されている。

②-②断面は 3 連のボックスカルバート構造である。杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に支持されている。

③-③断面は南北方向に中壁が存在する断面であり、耐震評価上、中壁の変形抑制効果を考慮することができる断面である。杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に支持されている。

④-④断面は南北方向の中壁位置の断面であり、耐震評価上、側壁変形抑制する考慮することができる断面である。杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に支持されている。

(2) 評価対象断面の選定

①－①断面は、カルバートについて耐震評価上、変形抑制効果を考慮することができる壁部材が存在しないため、①－①断面を評価対象断面とする。

また、この断面を選定することで、軽油カルバートの弱軸断面方向に対する耐震評価も同時に行うことができる。

②－②断面は南側に堅固な立坑が隣接することから、①－①断面と比較しカルバート構造の変形抑制効果を考慮できる。よって①－①断面と比較して耐震裕度が見込めるため、評価対象断面としない。

③－③断面及び④－④断面は南側に堅固な立坑が隣接すること、耐震評価上、カルバート構造の中壁及び側壁の変形抑制効果を考慮できることから、①－①断面と比較して耐震裕度が見込めるため、評価対象断面としない。

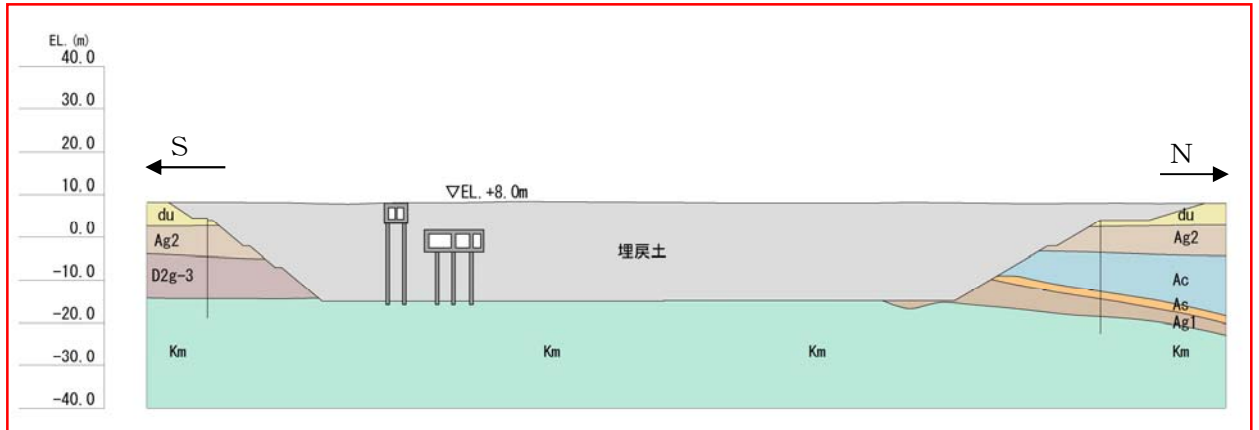
(3) 断面選定結果

(2)より、南北方向の①－①断面を評価対象断面とする。評価対象断面の選定結果を第1.4.7-2表に、評価対象断面図を第1.4.7-4図に示す。

第 1.4.7-2 表 カルバート 評価対象断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	間接支持する設備	既工認評価断面	今回工認評価断面	選定結果
南北	①-①	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油移送配管 水配管 電気ケーブル 	—	○	変形抑制効果を考慮できる壁部材が存在しないため評価対象断面に選定
	②-②	同上	<ul style="list-style-type: none"> 杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 立坑が隣接 	<ul style="list-style-type: none"> 水配管 電気ケーブル 	—	—	弱軸断面方向であるが、①-①断面と比較して、隣接する立坑の変形抑制効果を考慮できるため評価対象断面としない
	③-③	同上	<ul style="list-style-type: none"> 杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 立坑が隣接 耐震評価上、中壁の変形抑制効果を考慮できる 	同上	—	—	弱軸断面方向であるが、①-①断面と比較して、隣接する立坑の変形抑制効果を考慮できる。さらに、耐震壁の変形抑制効果も考慮できるため評価対象断面としない
	④-④	同上	<ul style="list-style-type: none"> 杭基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置 立坑が隣接 中壁位置の断面 	同上	—	—	同上

○：耐震評価を実施 —：耐震評価を省略



第 1. 4. 7-4 図 カルバートの評価対象断面 (①-①断面)

1.5 地盤物性のバラツキの考慮方法

1.5.1 せん断波速度 V_s のバラツキ

屋外重要土木構造物の耐震評価にあたっては、構造物の周囲に分布する第四系に対し、 V_s のバラツキを考慮した耐震評価を実施する。

(1) V_s のバラツキの設定方法

PS 検層による V_s の深度分布に基づき、 V_s のバラツキを考慮する。

各土質材料の V_s の深度分布に応じた平均有効主応力 σ'_m 依存の回帰式を (式 1) に示す。

$$V_s(\sigma'_m) = A \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式 1})$$

$$\sigma'_m = \frac{\sigma'_v + \sigma'_h}{2} = \frac{\sigma'_v + K_0 \times \sigma'_v}{2} = \frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma'_v \quad (\text{式 2})$$

$$K_0 = \frac{\nu_{CD}}{1 - \nu_{CD}} \quad (\text{式 3})$$

ν_{CD} : 静ポアソン比

各土質材料の解析用物性値の元になっている地盤調査結果の $V_s \sim \sigma'_m$ 関係データが N 個の σ'_{m_i} ($i = 1, 2, \dots, N$) に対応して与えられているものとし、これらを $V_s(\sigma'_{m_i})_{investigation}$ と表記し、最小二乗法による (式 1) のせん断波速度回帰式の出力を $V_s(\sigma'_{m_i})$ と表記する。この時、回帰係数 A は (式 4) が成立する値として求める。

$$\sum_{i=1}^N \{V_s(\sigma'_{m_i}) - V_s(\sigma'_{m_i})_{investigation}\}^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (\text{式 4})$$

また、各土質材料の標準偏差 σ は (式 5) により求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \{V_s(\sigma'_{m_i}) - V_s(\sigma'_{m_i})_{investigation}\}^2} \quad (\text{式 5})$$

よって、 V_s の $\pm 1\sigma$ を考慮した $V_s \sim \sigma'_m$ 関係式は、各 N 個の σ'_{m_i} ($i = 1, 2, \dots, N$) に対応して、最小二乗法による平均的な曲線を示す (式 1) に基づき、(式 6) により表される。

$$V_s(\sigma'_m) = A \times (\sigma'_m)^{0.25} \pm 1\sigma \quad (\text{式 6})$$

(式 6) により、 V_s の $\pm 1\sigma$ 側の各 N 個のデータ $V_s(\sigma'_{m_i})_{+1\sigma}$ 及び $V_s(\sigma'_{m_i})_{-1\sigma}$ を生成する。
(式 6) により生成された各 N 組の $V_s(\sigma'_{m_i})_{+1\sigma} \sim \sigma'_{m_i}$ 及び $V_s(\sigma'_{m_i})_{-1\sigma} \sim \sigma'_{m_i}$ 関係データを対象に (式 7) 及び (式 8) で最小二乗法により回帰する。

$$V_s(\sigma'_m)_{+1\sigma} = A_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式 7})$$

$$V_s(\sigma'_m)_{-1\sigma} = A_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式 8})$$

(2) Vs のバラツキを考慮した初期せん断剛性 G_m の設定方法

V_s の平均的な深度分布に対応する $G_m(\sigma'_m) \sim \sigma'_m$ 関係は (式 9) で表される。密度 ρ と係数 A の値を用いれば、各土質材料の解析用物性値の元になっている地盤調査結果の $V_s \sim \sigma'_m$ 関係データに対応する G_m についても、(式 9) の係数 B が求められる。

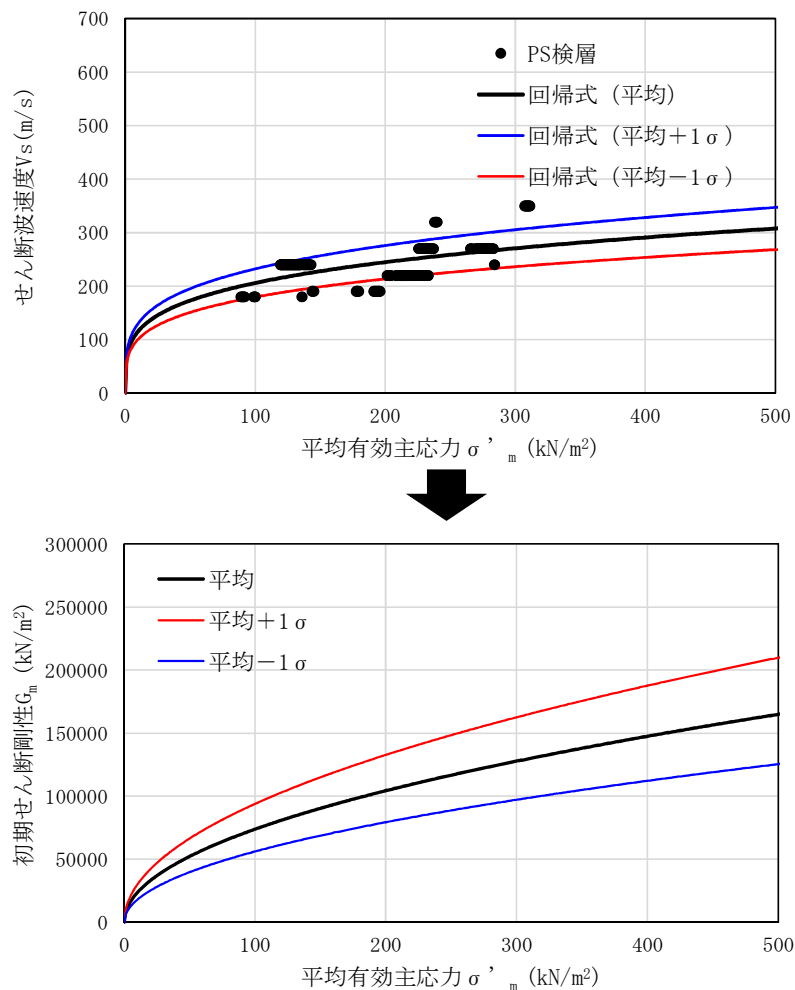
$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \{A \times (\sigma'_m)^{0.25}\}^2 = \rho \times A^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 9})$$

したがって、 V_s の $\pm 1\sigma$ 側に対応する $G_m(\sigma'_m) \sim \sigma'_m$ 関係は、(式 10) 及び (式 11) で表される。

$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \{A_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25}\}^2 = \rho \times (A_{+1\sigma})^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 10})$$

$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \{A_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25}\}^2 = \rho \times (A_{-1\sigma})^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 11})$$

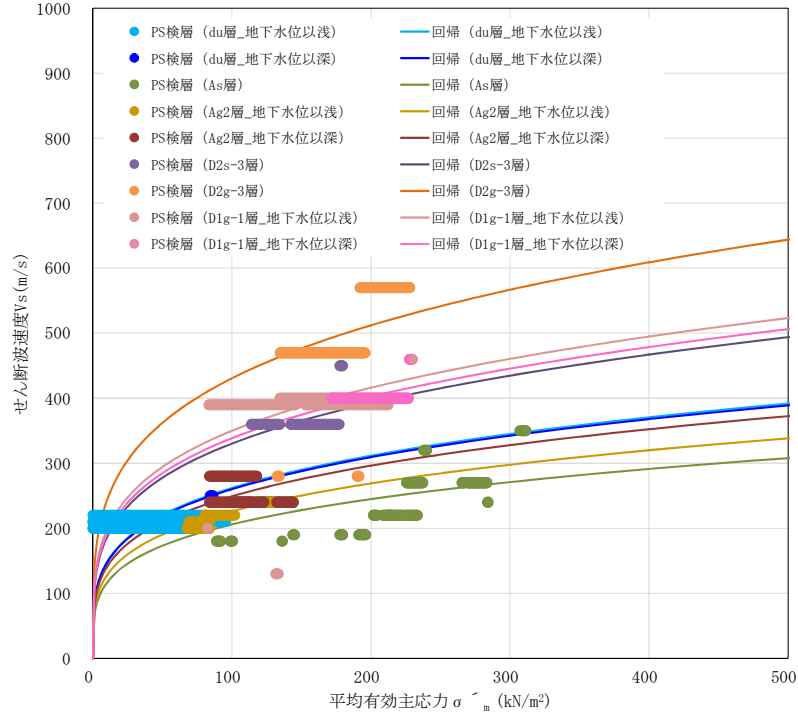
上記で示した G_m の σ'_m 依存の関係式設定イメージを第 1.5-1 図に示す。



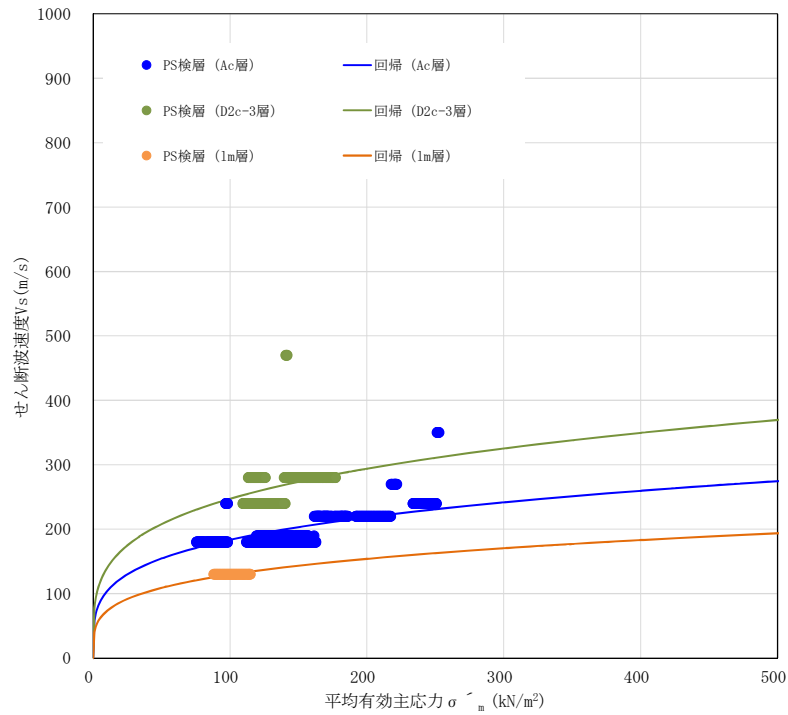
第 1.5-1 図 V_s のバラツキを考慮した G_m の σ'_m 依存の関係式設定イメージ

(3) Vs のバラツキの設定結果

PS 検層結果と、(1) の設定方法により算定した Vs の深度分布に応じた σ'_m 依存式 (平均) を第 1.5-2 図に示す。



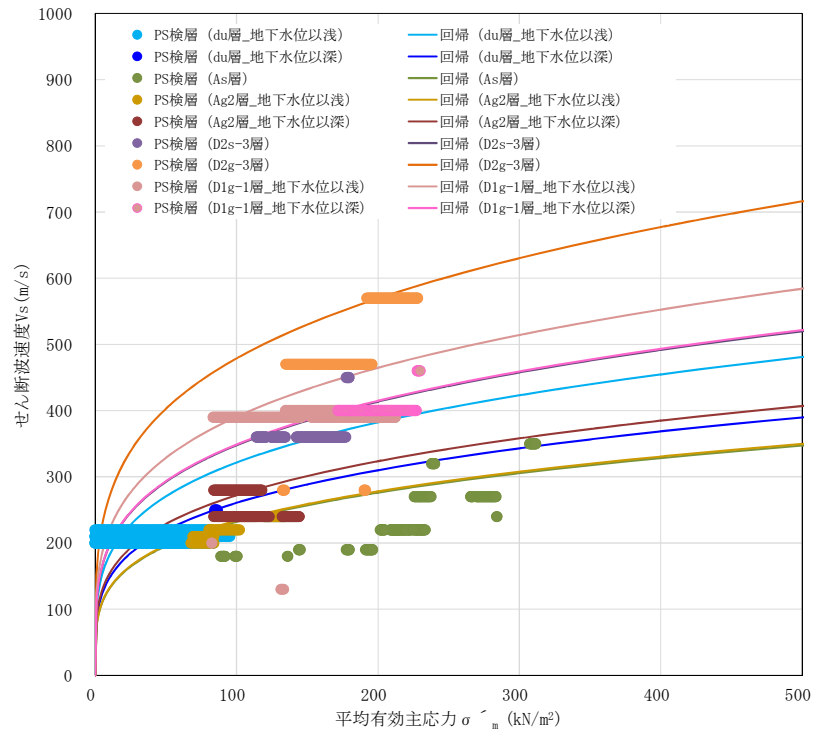
(液状化検討対象層)



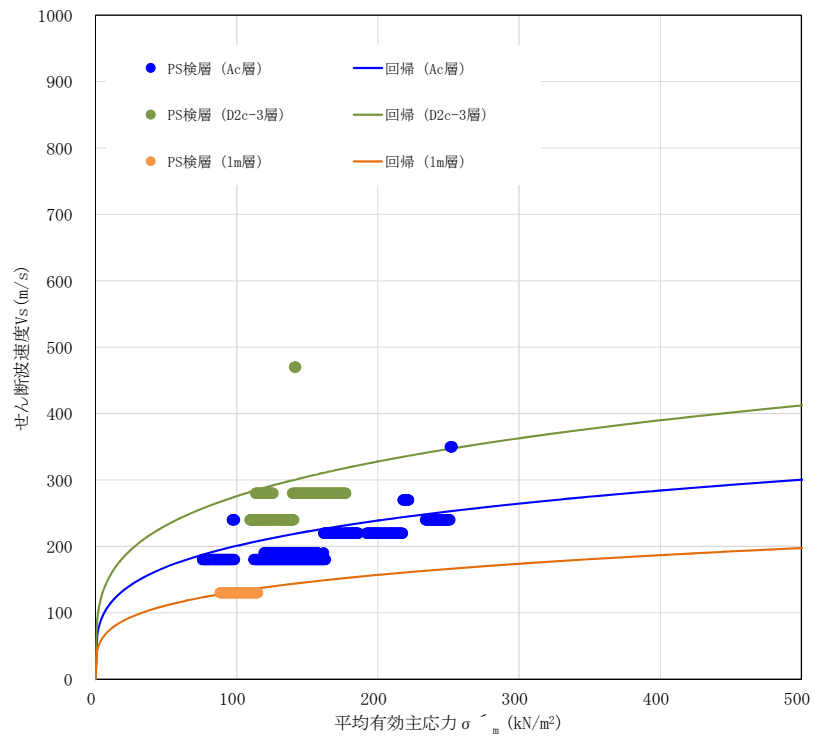
(非液状化層)

第 1.5-2 図 V_s の σ'_m 依存式 (平均)

また、 V_s のバラツキを考慮した σ'_m 依存式を第 1.5-3 図 (+1 σ) 及び第 1.5-4 図 (-1 σ) に示す。

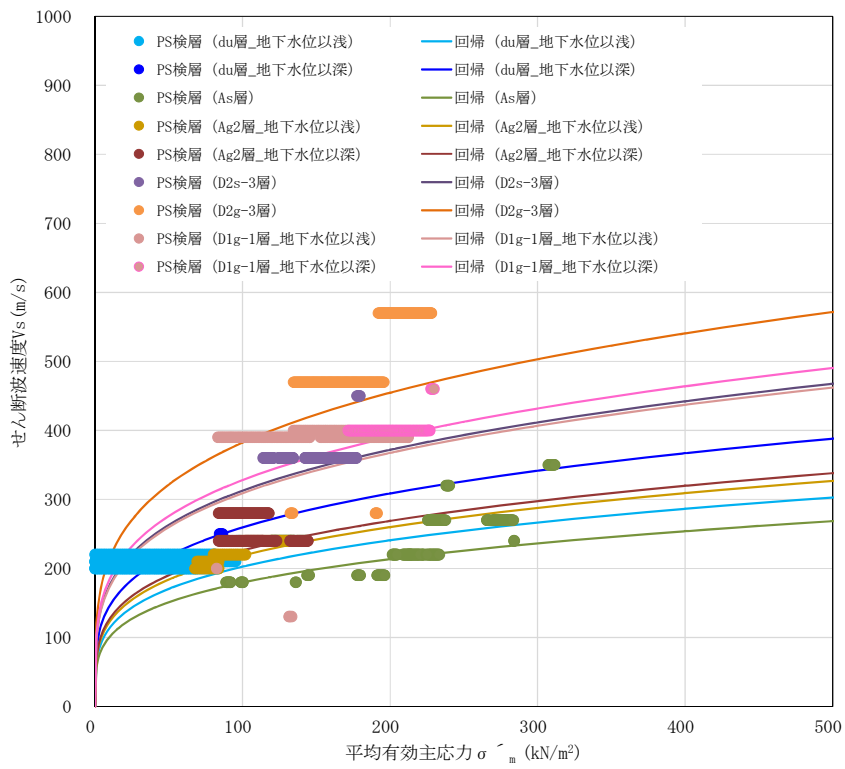


(液状化検討対象層)

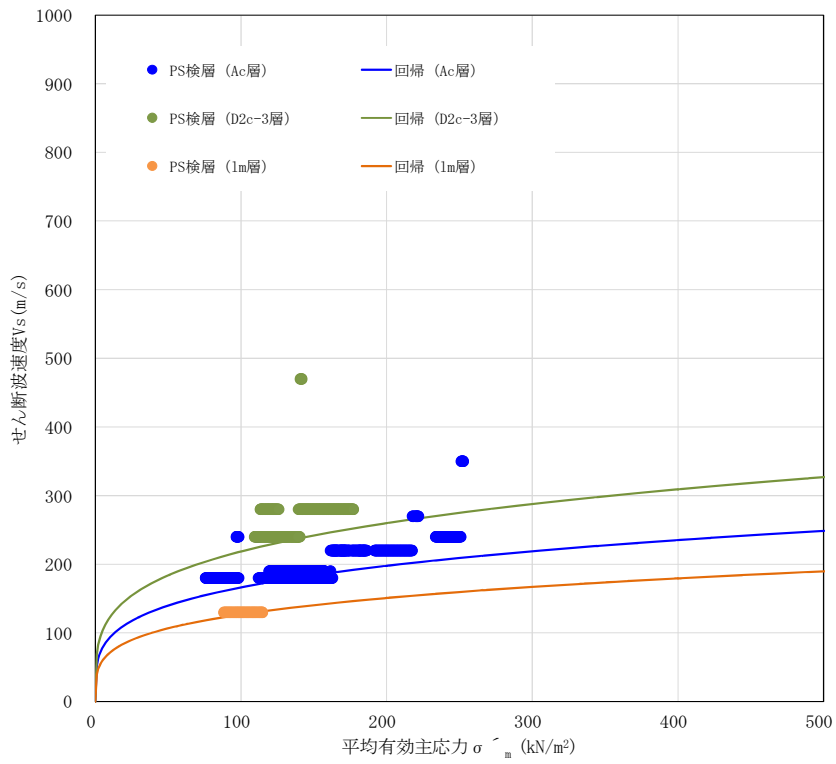


(非液状化層)

第 1.5-3 図 V_s の σ'_m 依存式 (+1 σ)



(液化化検討対象層)



(非液化化層)

第 1.5-4 図 V_s の σ'_m 依存式 (-1σ)

以上のように求めた平均 V_s の場合及び $\pm 1\sigma$ を考慮した場合の係数 A をまとめて第 1.5-1 表に、また、式 7~式 9 にて求めた G_m の σ'_m との関係式における係数 B を第 1.5-2 表に示す。

第 1.5-1 表 V_s のバラツキを考慮した係数 A

地層			密度 ρ (g/cm ³)	V_s の σ'_m に対する依存式 $V_s = A \times (\sigma'_m)^{0.25}$ (m/s)		
				係数A (平均の V_s)	係数A (平均+1 σ の V_s)	係数A (平均-1 σ の V_s)
第四系	du層	不飽和	1.82	82.8598	101.6984	64.0212
		飽和	1.98	82.2410	82.4428	82.0391
	Ag2層	不飽和	1.89	71.5266	73.9462	69.1071
		飽和	2.01	78.7716	86.0654	71.4778
	Ac層	飽和	1.65	58.0616	63.5317	52.5915
	As層	飽和	1.74	65.1014	73.4333	56.7694
	Ag1層	飽和	2.01	82.6980	83.2301	82.1659
	D2c-3層	飽和	1.77	78.1556	87.1758	69.1353
	D2s-3層	飽和	1.92	104.4247	109.9760	98.8734
	D2g-3層	飽和	2.15	136.1685	151.4711	120.8660
	lm層	不飽和	1.43	40.9503	41.7688	40.1318
		飽和	1.47			
	D1g-1層	不飽和	1.89	110.6364	123.5713	97.7014
飽和		2.01	107.0330	110.3465	103.7195	

σ'_m : 平均有効主応力 (kN/m²)

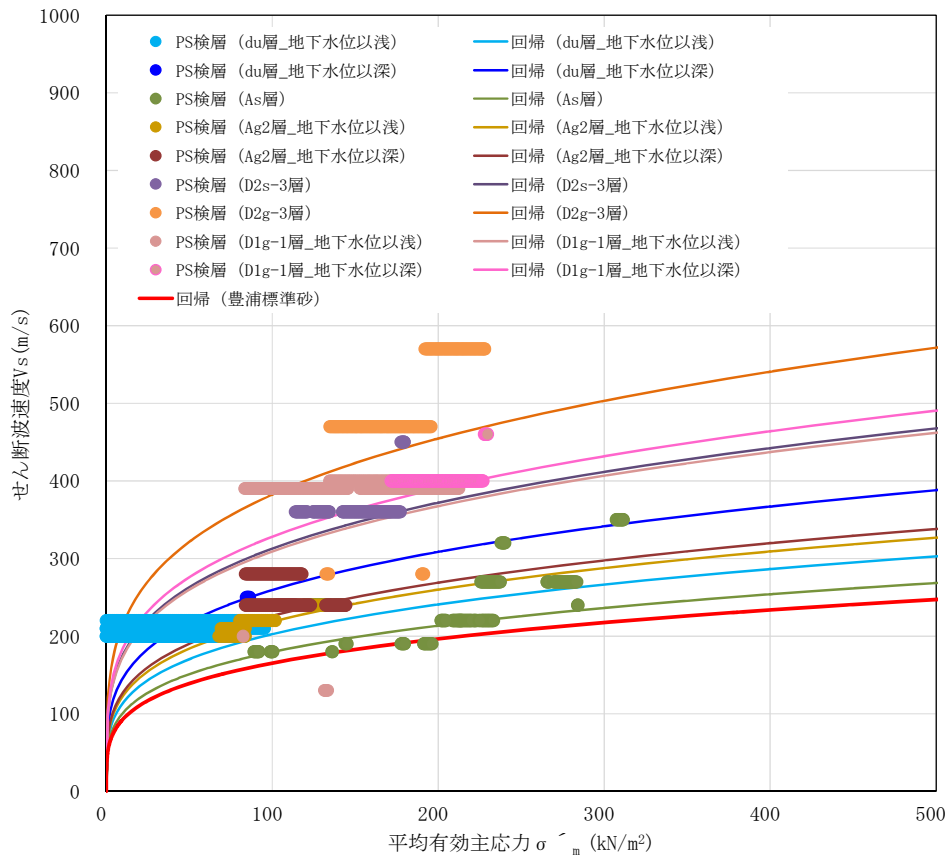
第 1.5-2 表 V_s のバラツキを考慮した G_m の係数 B

地層			G_m の σ'_m に対する依存式 $G_m = B \times (\sigma'_m)^{0.5}$ (kN/m ²)		
			係数B (平均の V_s)	係数B (平均+1 σ の V_s)	係数B (平均-1 σ の V_s)
第四系	du層	不飽和	12496	18823	7460
		飽和	13392	13458	13326
	Ag2層	不飽和	9669	10335	9026
		飽和	12472	14889	10269
	Ac層	飽和	5562	6660	4564
	As層	飽和	7374	9383	5608
	Ag1層	飽和	13746	13924	13570
	D2c-3層	飽和	10812	13451	8460
	D2s-3層	飽和	20937	23222	18770
	D2g-3層	飽和	39865	49328	31408
	lm層	不飽和	2398	2495	2303
		飽和	2465	2565	2368
	D1g-1層	不飽和	23134	28860	18041
飽和		23027	24474	21623	

σ'_m : 平均有効主応力 (kN/m²)

(4) 豊浦標準砂の V_s 算定式との比較

液状化検討対象層の V_s のバラツキを考慮した σ'_m 依存式 (-1σ) と、豊浦標準砂の V_s 算定式を比較する。豊浦標準砂の V_s 算定式は、全ての液状化検討対象層の -1σ の回帰式を包含し、さらに小さく設定されている。



第 1.5-5 図 V_s の平均有効主応力依存式 (-1σ) と豊浦標準砂の V_s 算定式の比較

以上により、 $\pm 1\sigma$ による原地盤の V_s のバラツキの設定方法及び設定結果を示すとともに、 V_s のバラツキに基づく初期せん断剛性 G_m の設定方法を示した。また、強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合に用いる豊浦標準砂の V_s 算定式は、原地盤の液状化検討対象層の -1σ の回帰式を全て包含していることを確認した。

1.5.2 液状化強度特性のバラツキ

屋外重要土木構造物の耐震評価にあたっては、地震時の有効応力の変化に応じた影響を適切に評価できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのバラツキを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定することを基本とする。

液状化強度試験データの回帰式として、回帰係数 a, b を用いた常用片対数の指数関数を(式 12) に示す。

$$R_L(N) = a \times (\log_{10} N)^b \quad (\text{式 12})$$

各土質材料の解析用物性値の元になっている液状化試験結果のせん断応力比 τ / σ'_m ($=R_L$) と繰返し載荷回数 N の関係のデータが K 個の繰返し載荷回数 N_j ($j=1, 2, \dots, K$) に対応して与えられているものとし、これらの実測値を $R_L(N_j)_{\text{experiment}}$ と表記し、最小二乗法により係数 a, b の値が定められた(式 12) の液状化強度回帰式の出力を $R_L(N_j)$ と表記すると、各土質材料の液状化強度特性の標準偏差 σ は(式 13) で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K-2} \sum_{j=1}^K \{R_L(N_j) - R_L(N_j)_{\text{experiment}}\}^2} \quad (\text{式 13})$$

(式 12), (式 13) より、各土質材料の液状化強度試験データのバラツキを考慮した保守側の液状化強度近似曲線は、(式 14) により求められる。

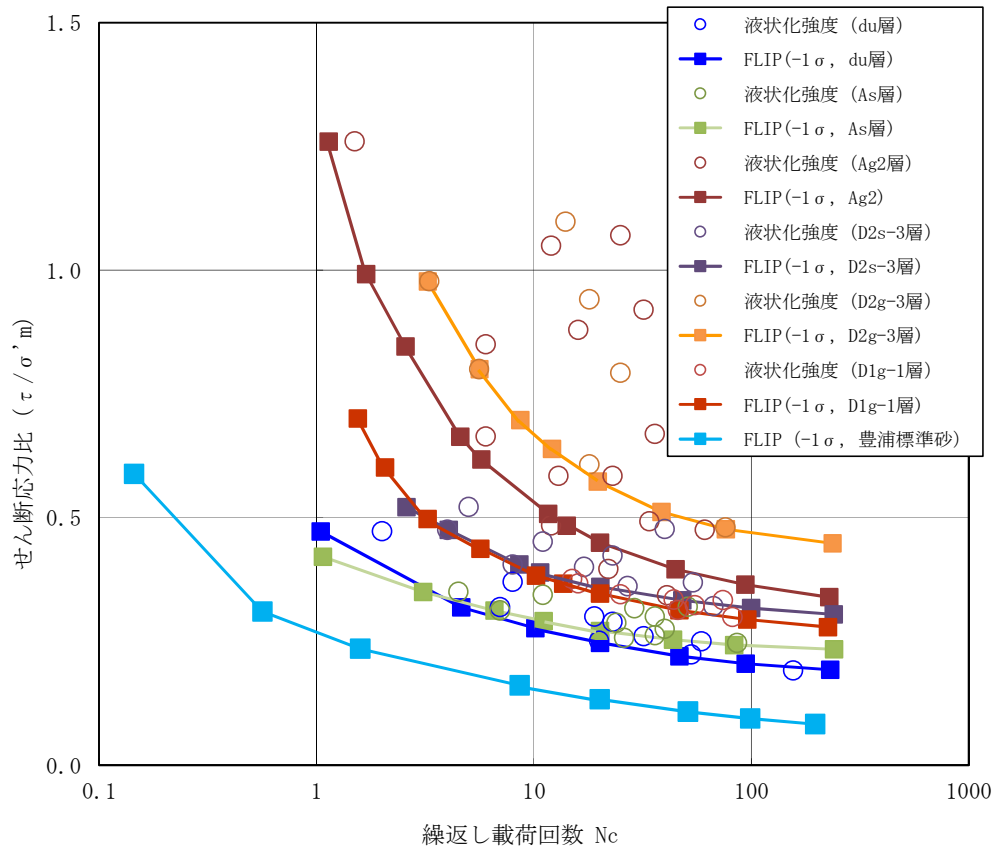
$$R_L(N)_{-1\sigma} = a \times (\log_{10} N)^b - 1\sigma \quad (\text{式 14})$$

屋外重要土木構造物の耐震評価では、(式 14) による原地盤の液状化強度特性 (-1σ) を適用した有効応力解析を実施することを基本とする。

また、屋外重要土木構造物の耐震評価においては、以下の解析を実施する場合がある。

地中土構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として、地盤を強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は、原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性(敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性)を設定する。豊浦標準砂の液状化強度特性を原地盤の液状化強度特性 (-1σ) と比較した結果を第 1.5-6 図に示す。

上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮する場合は、原地盤において非液状化の条件(最も液状化強度が大きい場合に相当)を仮定した解析を実施する。



第 1.5-6 図 原地盤の液状化強度特性 (-1 σ) と豊浦標準砂の液状化強度特性の比較

以上より，屋外重要土木構造物の耐震評価においては，地盤の液状化強度特性のバラツキを以下のように考慮する。

- 原地盤の液状化強度特性 (-1 σ) の適用を基本とする。
- 地中土構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として，強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は，原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性（敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性）を設定する。
- 上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として，非液状化の影響を考慮する場合は，原地盤において非液状化の条件（最も液状化強度が大きい場合に相当）を仮定した解析を実施する。