

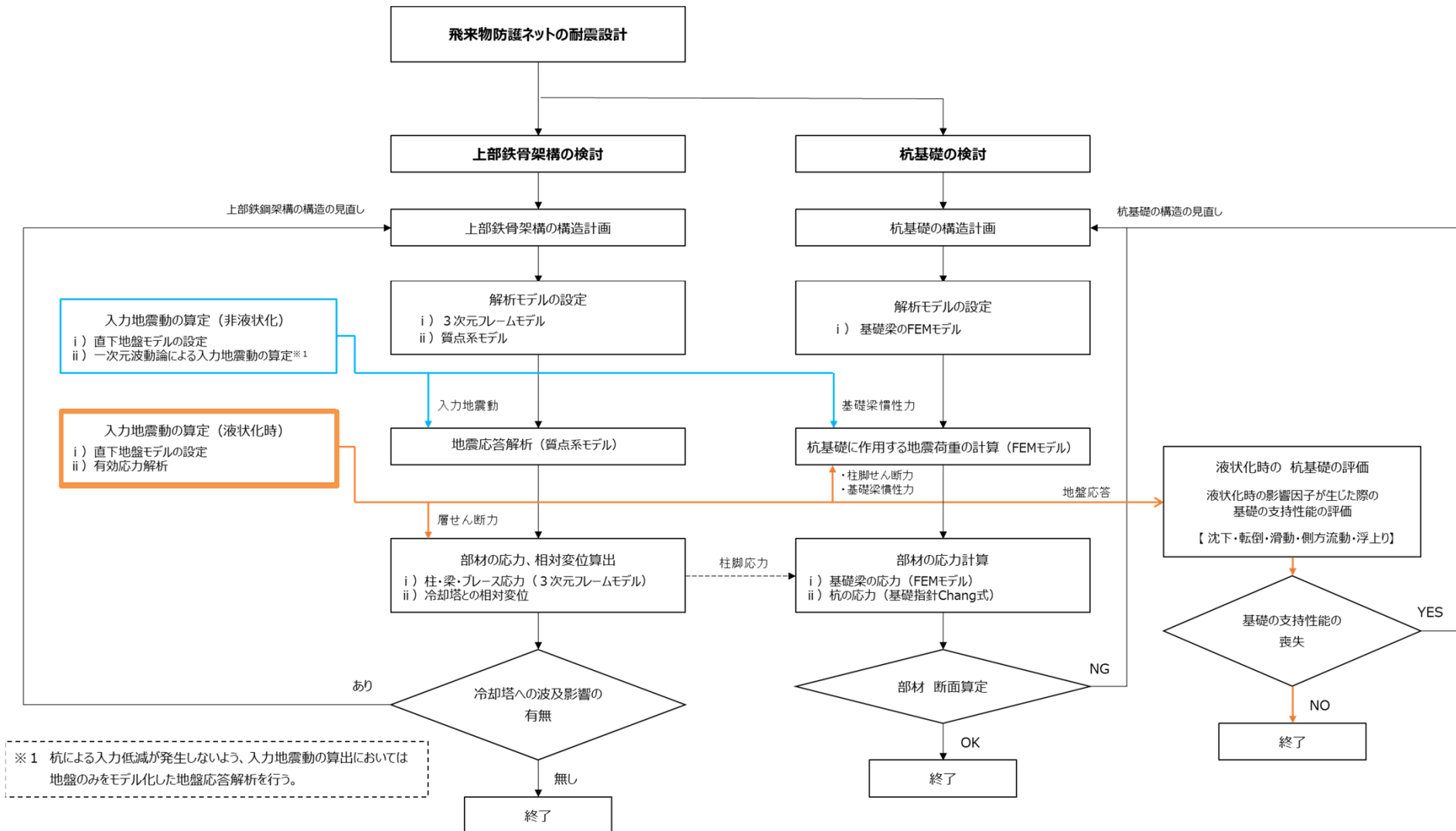
安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価 はじめに

■ 本資料の目的

- 液状化が生じた際の飛来物防護ネット架構の冷却塔への波及的影響検討を行うにあたって、「有効応力解析」を実施する。
- 本資料では、有効応力解析で用いる「解析モデル」や「解析ケース」、「解析条件」について整理して示す。

(1) 耐震設計の全体フロー	.....	P2
(2) 液状化時の評価の流れ	.....	P3
(3) 解析ケースの抽出	.....	P4～P8
(4) 解析モデルの概要	.....	P9～P15
(5) 解析結果	.....	(追而)

- 以下に飛来物防護ネット架構の耐震設計の全体フロー図を示す。
 本資料では、フロー図中の液状化時の「入力地震動の算定」に係る 検討について示すものである。

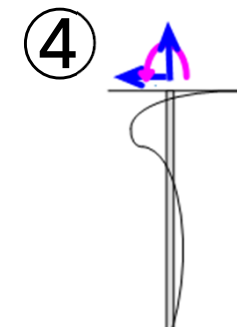
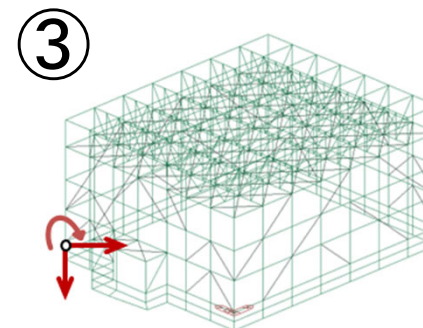
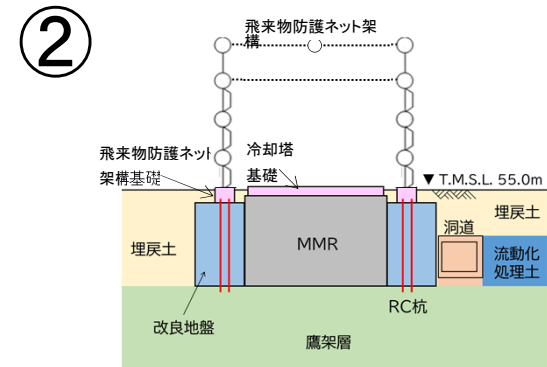
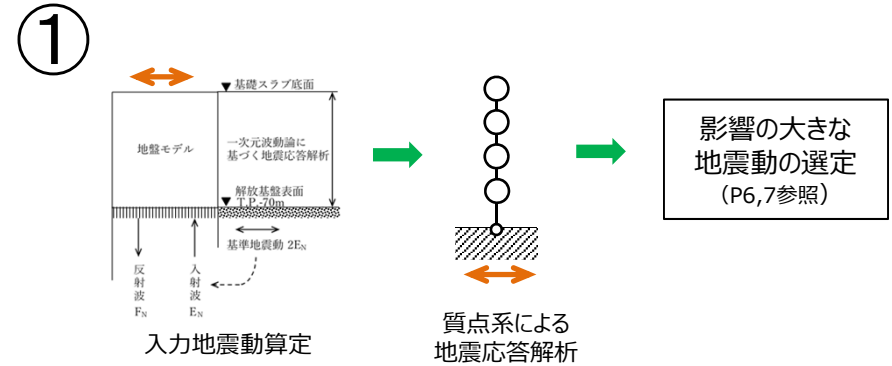
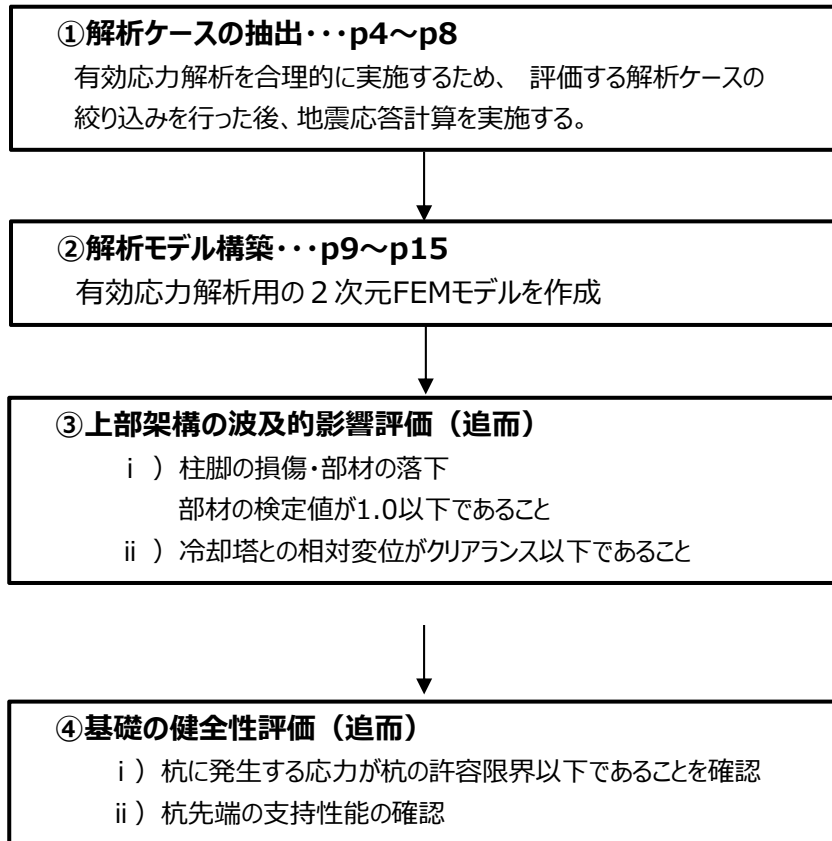


安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価

(2) 液状化時の評価の流れ

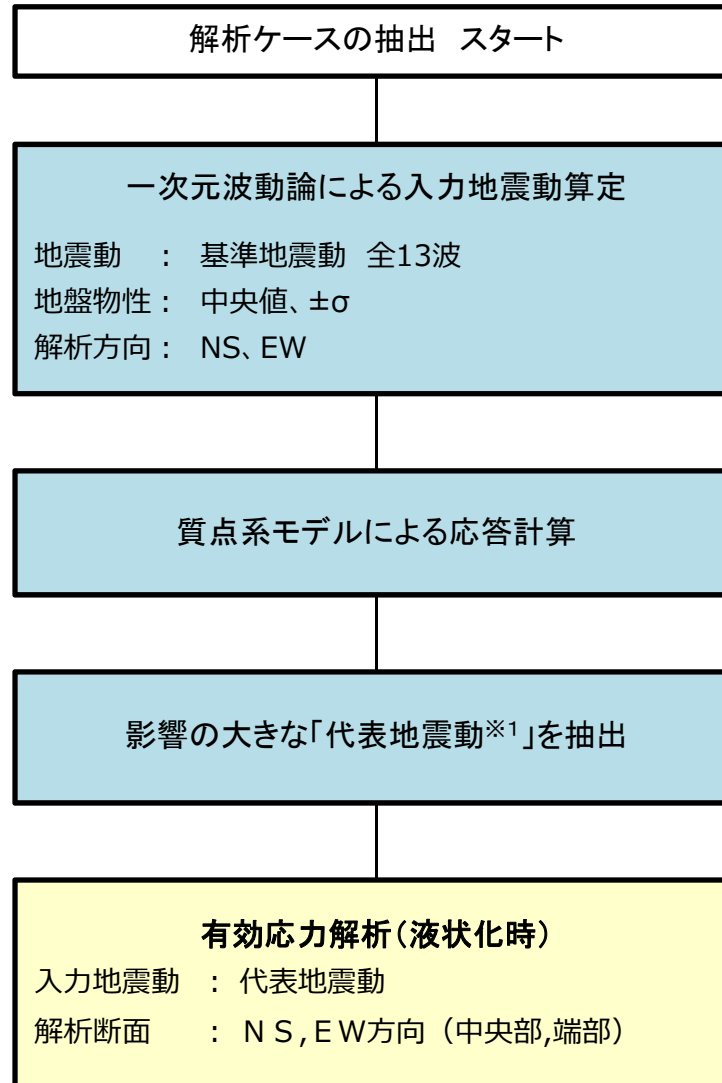
■ 液状化時の評価の流れ

液状化の影響を評価するための、有効応力解析の検討の手順を以下のフロー及び右図に示す。



安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価
(3) 解析ケースの抽出 (抽出手順) 1 / 5

■ 解析ケースの抽出から有効応力解析までのフロー図を以下に示す。



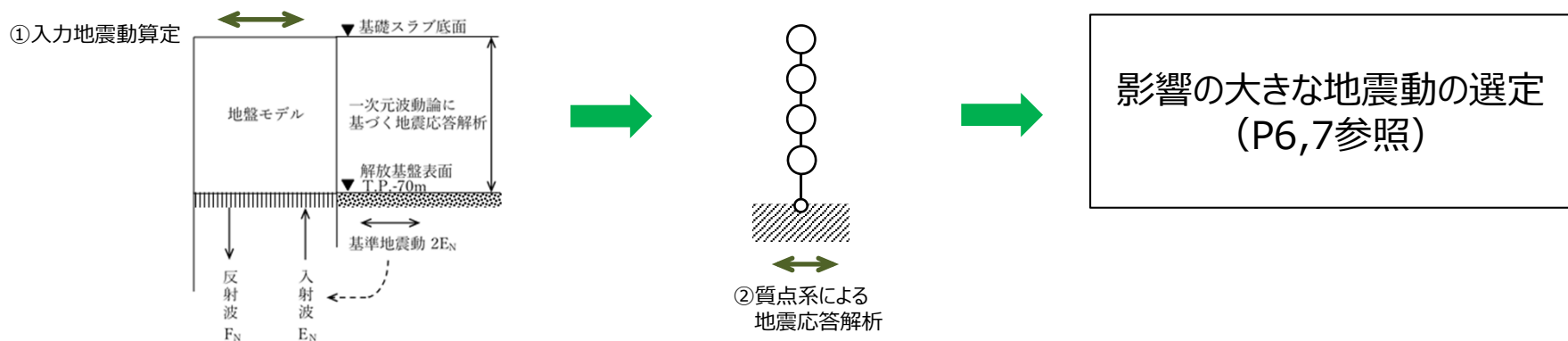
※1 代表地震動は以下に着目して抽出する(詳細は次頁参照)

- i) 上部鉄骨架構の脚部のせん断力が大きいもの
- ii) 杭へ作用するせん断力が大きいもの

■ 代表地震動の抽出

直下地盤における 1 次元波動論から求まる入力地震動に対して、「質点系モデル」による地震応答解析を行い、以下の項目に着目して代表地震動を抽出する。

- i) 上部鉄骨架構の「過大な変形」や「柱脚の損傷」の主要因となる、一番大きな「せん断力」が発生する地震動を抽出する。
- ii) 上部鉄骨架構の座屈拘束ブレースの健全性を確認するため、「最大応答ひずみ」と「ブレースの疲労係数」が最大となる地震動を抽出する。
- iii) 「杭に生ずる応力が杭の許容限界を超える事象」や「杭の鉛直力が地盤極限支持力を超える事象」によって杭の支持性能の喪失が生ずる原因となる一番大きな杭へのせん断力が発生する地震動を抽出する。



安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価
 (3) 解析ケースの抽出 (代表地震動の抽出根拠) 3 / 5

NS方向

No.	地震波	基礎・杭設計用			フレーム部材設計用			座屈拘束ブレース設計用					
		(A) 水平地震荷重 [kN]			(B) 最大応答せん断力 [kN]			(C) 最大応答軸ひずみ [%]			(D) 座屈拘束ブレースの最大疲労係数		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A_h	40828	41032	40167	12845	13032	12898	0.95	0.95	0.97	0.178	0.170	0.192
2	Ss-B1	30632	30375	29906	13095	13133	13097	0.62	0.58	0.68	0.045	0.042	0.049
3	Ss-B2	32770	33301	32267	12000	12463	12342	0.95	0.91	0.95	0.059	0.057	0.062
4	Ss-B3	31012	31870	30948	11133	11338	11279	0.63	0.62	0.67	0.034	0.030	0.039
5	Ss-B4	35810	34923	37626	12287	12399	12215	0.68	0.68	0.66	0.033	0.031	0.034
6	Ss-B5	30564	29926	31230	11617	11927	12160	0.84	0.79	0.87	0.046	0.039	0.055
7	Ss-C1_h	40874	39527	42520	13945	13920	14046	1.48	1.40	1.60	0.019	0.018	0.020
8	Ss-C2_x	25062	24292	24651	8160	7911	8966	0.25	0.25	0.28	0.006	0.005	0.009
9	Ss-C2_y	33068	32371	33629	12260	12385	12514	0.38	0.35	0.44	0.013	0.011	0.018
10	Ss-C3_ew	30922	31500	30695	12192	12626	11818	0.61	0.59	0.63	0.023	0.021	0.025
11	Ss-C3_ns	27407	26816	28578	11688	11828	11792	0.75	0.75	0.76	0.018	0.014	0.020
12	Ss-C4_ew	32339	32247	34992	10753	11063	10797	0.68	0.67	0.72	0.026	0.026	0.032
13	Ss-C4_ns	32893	33166	33256	12354	12155	12449	0.41	0.40	0.44	0.023	0.023	0.025

注1) 黄着色は、全13波のうち最大となる数値を示す。

注2) (A)の地震荷重は、(B)に基礎部の慣性力(=最大加速度×基礎重量)を加えたもの。

安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価
 (3) 解析ケースの抽出 (代表地震動の抽出根拠) 4 / 5

EW方向

No.	地震波	基礎・杭設計用			フレーム部材設計用			座屈拘束ブレース設計用					
		(A) 水平地震荷重 [kN]			(B) 最大応答せん断力 [kN]			(C) 最大応答軸ひずみ [%]			(D) 座屈拘束ブレースの最大疲労係数		
		標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ	標準地盤	地盤+σ	地盤-σ
1	Ss-A_h	41222	41246	40568	13239	13246	13299	0.98	0.98	1.02	0.171	0.160	0.185
2	Ss-B1	33923	32848	35346	12186	11988	12971	0.62	0.54	0.72	0.024	0.024	0.029
3	Ss-B2	32943	32210	33475	11982	12077	11789	0.65	0.67	0.66	0.045	0.041	0.050
4	Ss-B3	27982	27438	28644	10756	10510	11208	0.37	0.33	0.44	0.020	0.019	0.027
5	Ss-B4	34567	34908	33285	12464	12757	12516	0.56	0.53	0.61	0.020	0.020	0.020
6	Ss-B5	36595	35490	36701	13323	13334	13505	0.88	0.83	0.96	0.034	0.033	0.045
7	Ss-C1_h	41020	39724	42599	14091	14117	14125	1.47	1.39	1.59	0.018	0.016	0.020
8	Ss-C2_x	24512	24014	23717	7610	7633	8032	0.24	0.23	0.26	0.005	0.005	0.006
9	Ss-C2_y	32831	31898	33758	12023	11912	12643	0.35	0.34	0.39	0.009	0.009	0.011
10	Ss-C3_ew	31998	32192	31877	13268	13318	13000	0.64	0.63	0.65	0.021	0.019	0.024
11	Ss-C3_ns	27762	26934	29024	12043	11946	12238	0.78	0.76	0.81	0.013	0.012	0.018
12	Ss-C4_ew	33786	33308	36353	12200	12124	12158	0.76	0.75	0.75	0.024	0.023	0.027
13	Ss-C4_ns	33604	34246	33452	13065	13235	12645	0.44	0.44	0.46	0.021	0.019	0.023

注1) 黄着色は、全13波のうち最大となる数値を示す。

注2) (A)の地震荷重は、(B)に基礎部の慣性力(=最大加速度×基礎重量)を加えたもの。

■ 「有効応力解析の解析ケース」

地震動		解析断面			
		NS方向(UD含む)		EW方向(UD含む)	
		中央	端部	中央	端部
1	Ss-A	○			
2	Ss-A		○		
3	Ss-A			○	
4	Ss-A				○
5	Ss-C1	○			
6	Ss-C1		○		
7	Ss-C1			○	
8	Ss-C1				○

※ 初期剛性は $-\sigma$ として設定する。

※ 解析断面についてはP.10に示す。

■ 解析モデルの基本的な考え方

- 1) 液状化時の影響を評価するため、2次元FEMモデルによる有効応力解析を行う。
- 2) 解析モデルは周辺地盤状況や施設の配置を踏まえた、実態に即したモデルとする。
- 3) 上部鉄骨架構の振動特性の基礎への影響を考慮するため、上部鉄骨架構は質点系でモデル化する。

■ 有効応力解析により評価する事項（結果については追而）

1) 基礎

基礎の評価については、有効応力解析により算定された杭に発生する最大応力（鉛直支持力、曲げモーメント、せん断力）が許容限界を超えないことを確認する。

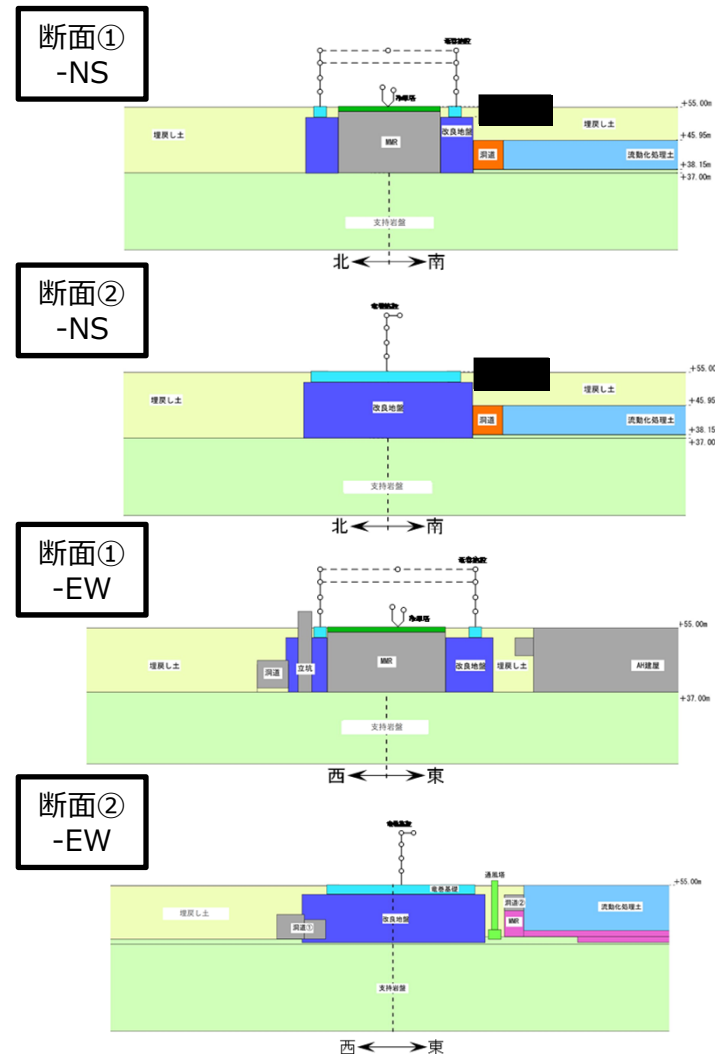
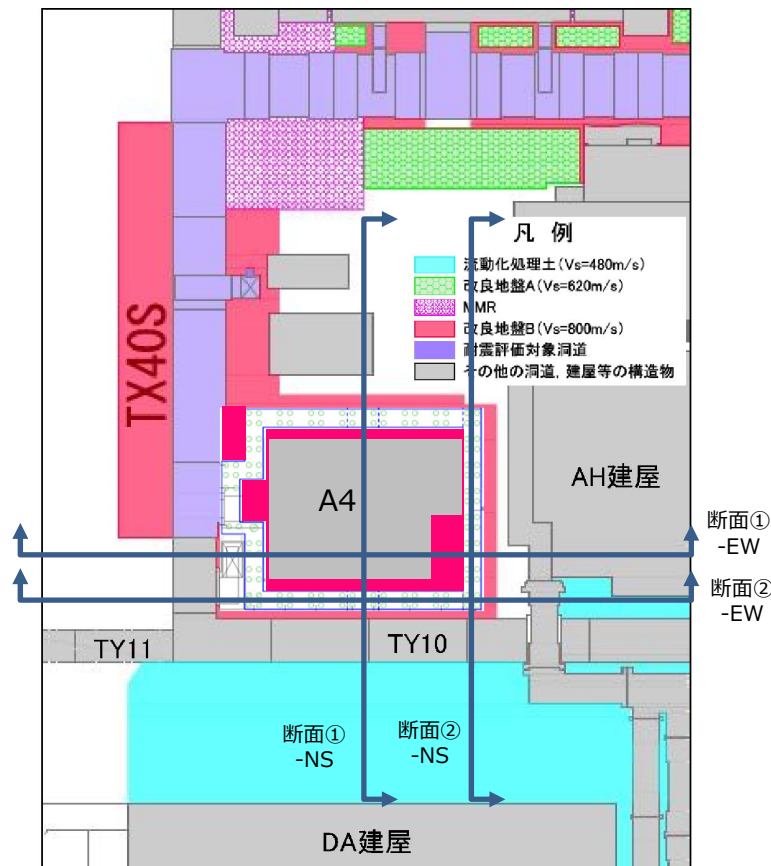
2) 上部鉄骨架構

上部鉄骨架構の評価については、有効応力解析時の質点系モデルに発生するせん断力を3次元フレームモデルに入力し個別部材の評価を行う。

安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価 (4) 解析モデルの概要 2 / 7

(1) 解析対象断面

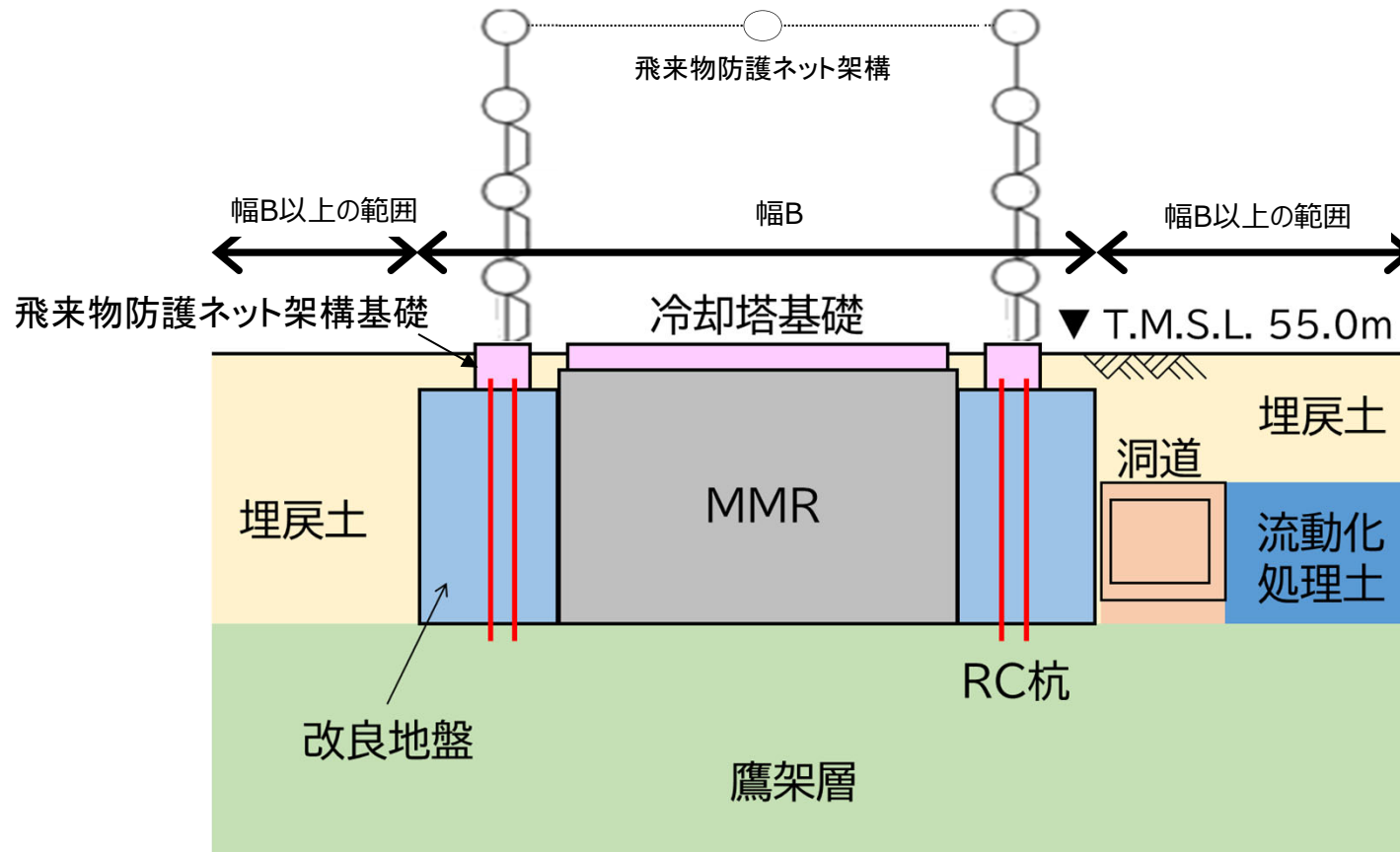
- 解析対象断面は、基礎が口型のため、中心部と端部で形状が異なることから NS、EW各方向において、「中心部の改良地盤、杭、MMRで構成される断面」と「端部の改良地盤、杭で構成される断面」の計4断面とする。



安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価
(4) 解析モデルの概要 3 / 7

(2) 解析領域

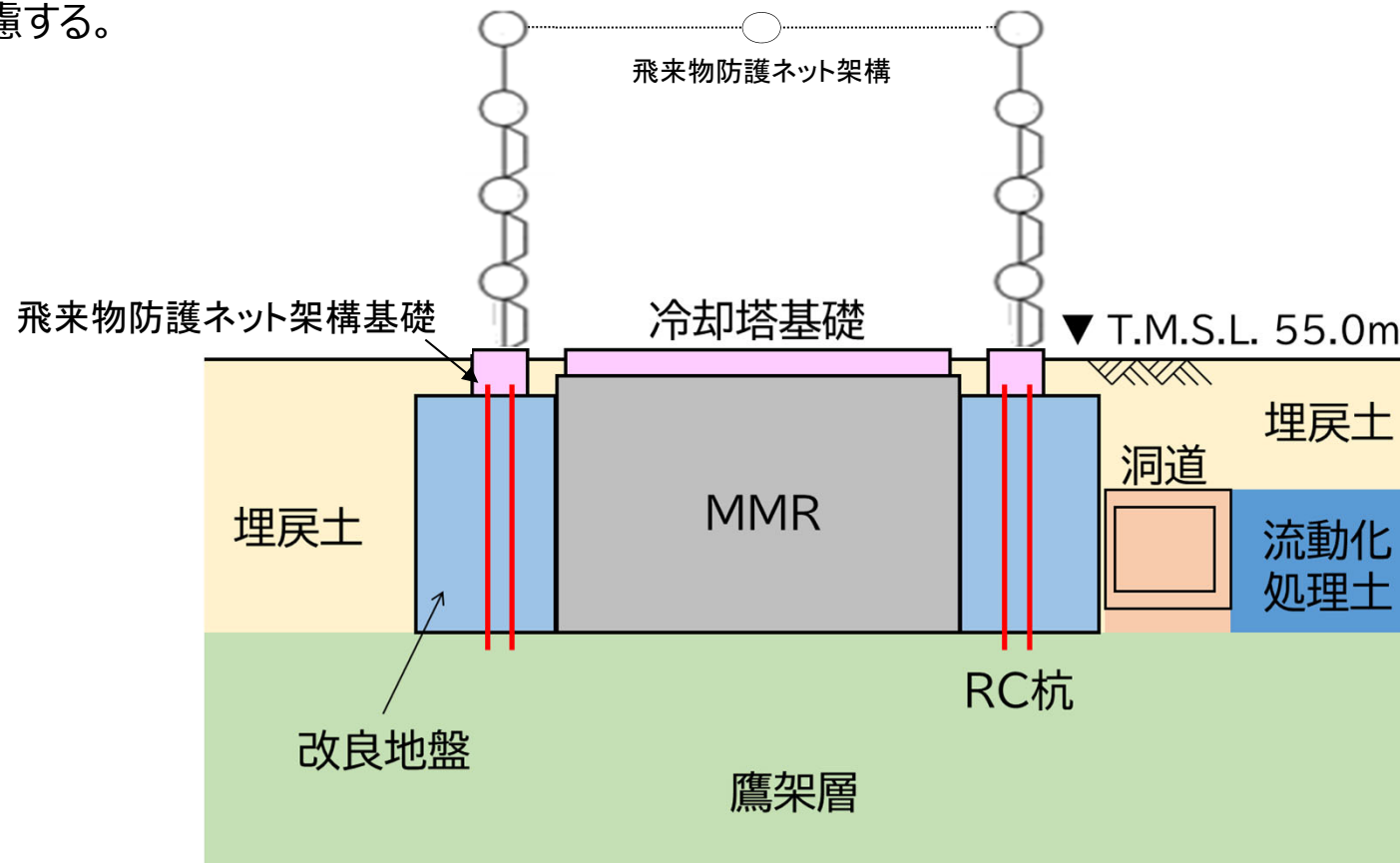
- MMRに改良地盤を加えた幅Bに対して両側幅B以上の範囲をモデル化領域とする。
- モデル化領域内に存在する地盤条件、隣接構造物については実態に即しモデル化する。



安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価
(4) 解析モデルの概要 4/7

(3) 地盤の物性値について

- ・液状化を考慮する地盤については埋戻土とし、改良地盤、流動化処理土は液状化をしないものとする。
- ・埋戻土、改良地盤、流動化処理土については非線形特性を与える。
- ・MMR、地中構造物（杭、基礎梁、冷却塔基礎、洞道、隣接構造物）については弾性体として扱う。
- ・埋戻土の液状化強度特性については液状化の現象を保守側に評価するため下限値の値とする。
- ・鷹架層地盤の物性値についてSHAKEによる等価線形解析で求めた等価物性値とし、物性のばらつきを考慮する。

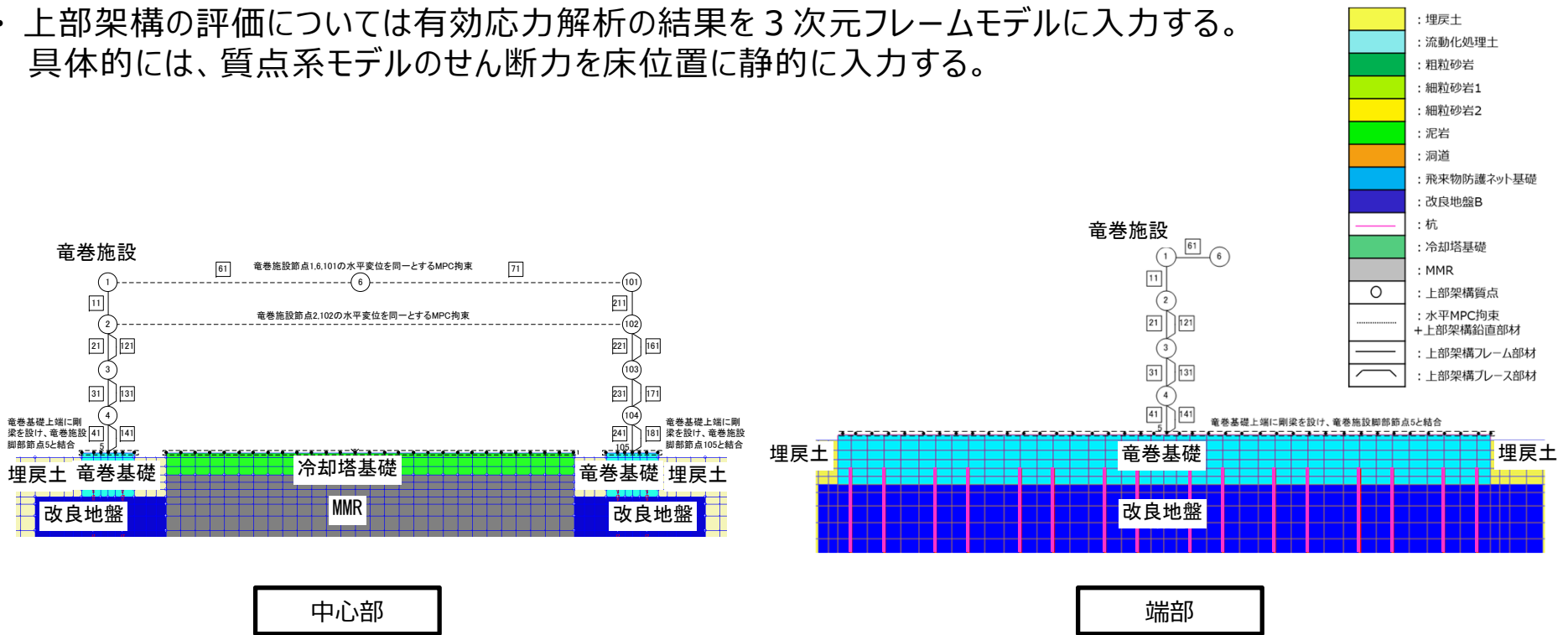


安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価

(4) 解析モデルの概要 5 / 7

(4) 上部鉄骨架構のモデル化

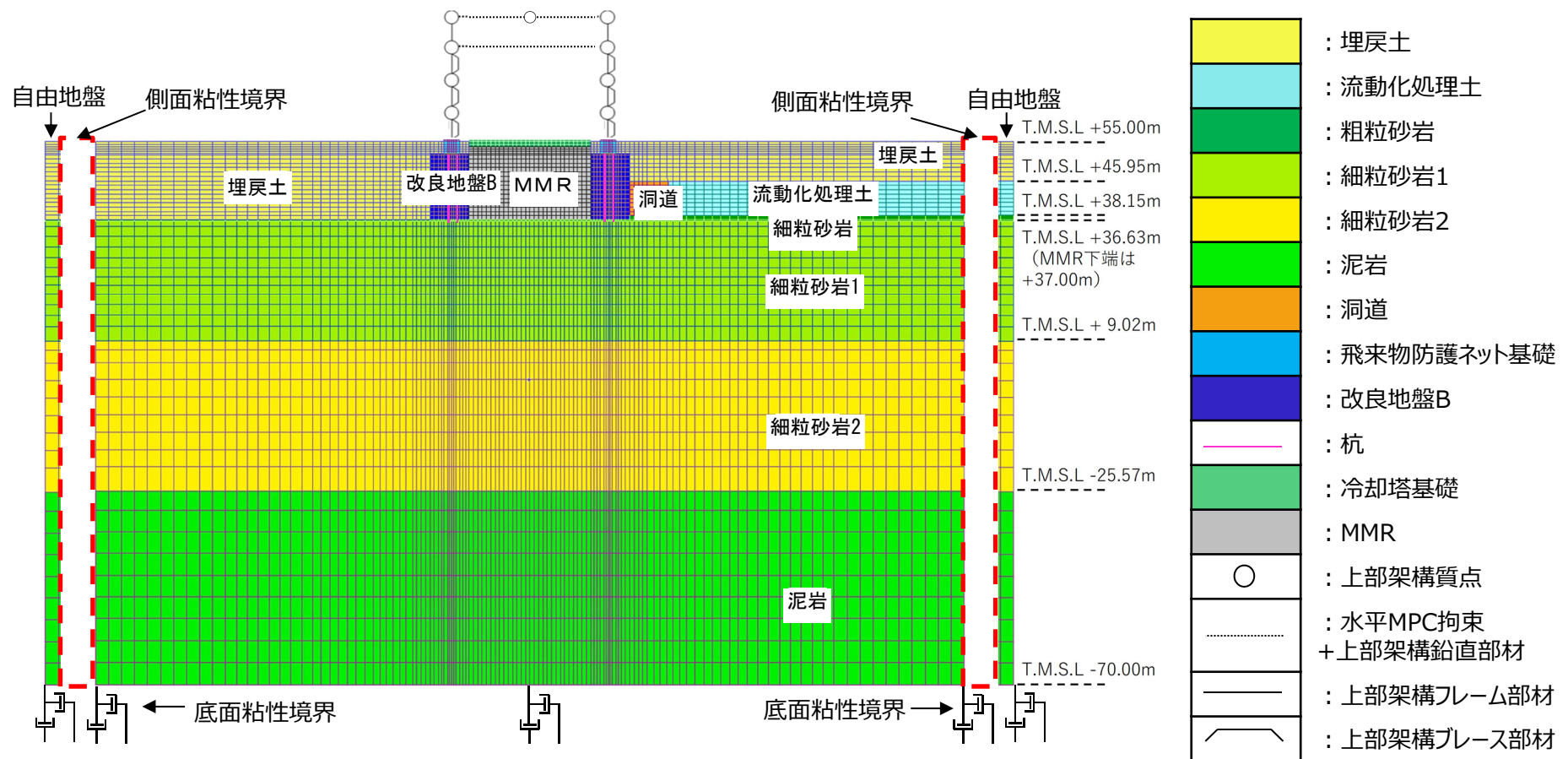
- 上部鉄骨架構としてモデル化した水平・鉛直の質点系モデルを地盤・基礎の2次元FEMモデルと一体で解析することで、上部鉄骨架構の振動特性を考慮する。
- 杭への応力を適切に評価するため、鉛直・水平方向の応答と水平方向地震力による基礎のロッキングを考慮する（杭の変動軸力を考慮する）。
- 地震入力については水平・上下同時入力とする。
- 上部架構の評価については有効応力解析の結果を3次元フレームモデルに入力する。具体的には、質点系モデルのせん断力を床位置に静的に入力する。



安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット架構における 液状化時の波及的影響評価 (4) 解析モデルの概要 6 / 7

(5) 境界条件

- 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。



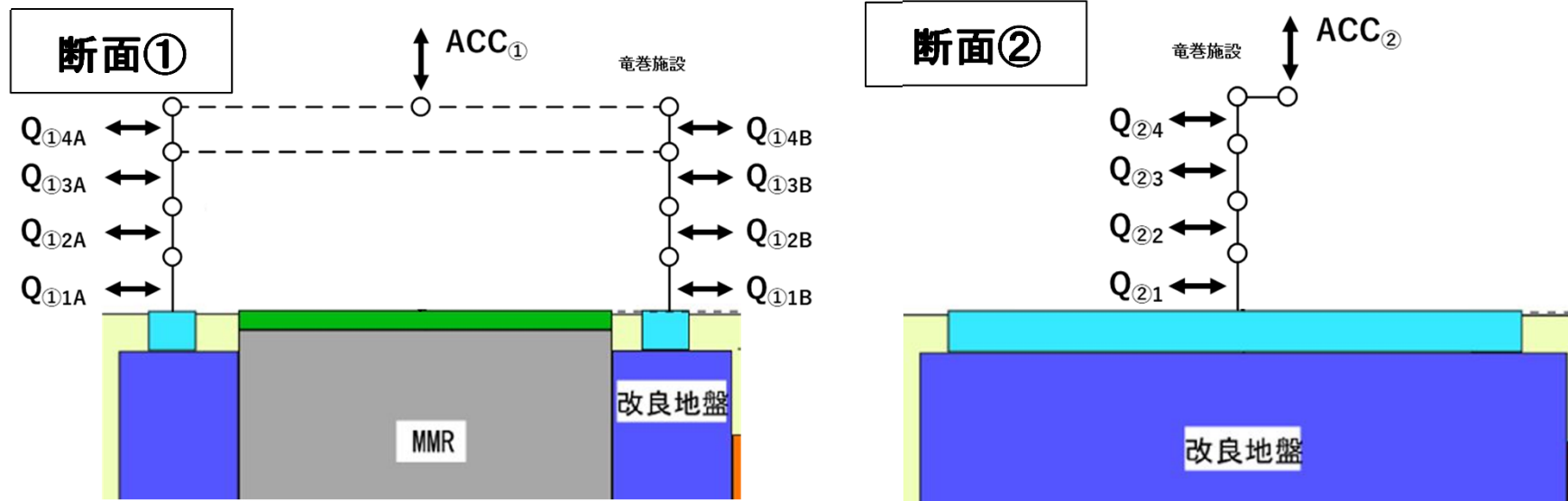
断面①-NS

(5) 境界条件

- 解析領域の境界部において、側面及び底面は半無限性によるエネルギー逸散効果を考慮するために粘性境界を設ける。

断面②-NS
断面①-EW
断面②-EW
はモデル作成中

【参考】有効応力解析結果の3次元フレームへの入力について



(1) 左右のせん断力の和を層せん断力とする

$$\left. \begin{aligned} Q_{①4} &= Q_{①4A} + Q_{①4B} \\ Q_{①3} &= Q_{①3A} + Q_{①3B} \\ Q_{①2} &= Q_{①2A} + Q_{①2B} \\ Q_{①1} &= Q_{①1A} + Q_{①1B} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{奥行1.0m相当の数値} \\ \rightarrow \text{実寸法相当に変換(係数倍)} \end{array}$$

(2) 断面①と断面②の層せん断力(実寸法相当)を比較、大きい数値を設計用せん断力(三次元フレーム解析用)として採用する

(3) 断面①と断面②の屋根部の鉛直加速度($ACC_{①}$, $ACC_{②}$)を比較、大きい数値より設計用鉛直震度(三次元フレーム解析用)を設定する