

ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の新設について ALPS処理水審査会合（第11回）

2022年3月15日



東京電力ホールディングス株式会社

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

(2-1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点)

(1) 海洋放出設備

⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

①ALPS処理水の海水への混合希釈率の調整及び監視

(2-2 政府方針への取り組みに関する主な確認事項)

(1) トリチウムの年間放出量

(参考) 全体方針

審査会合における主な指摘事項※等に対する回答

※：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

指摘事項①

(2-1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点)

(1) 海洋放出設備

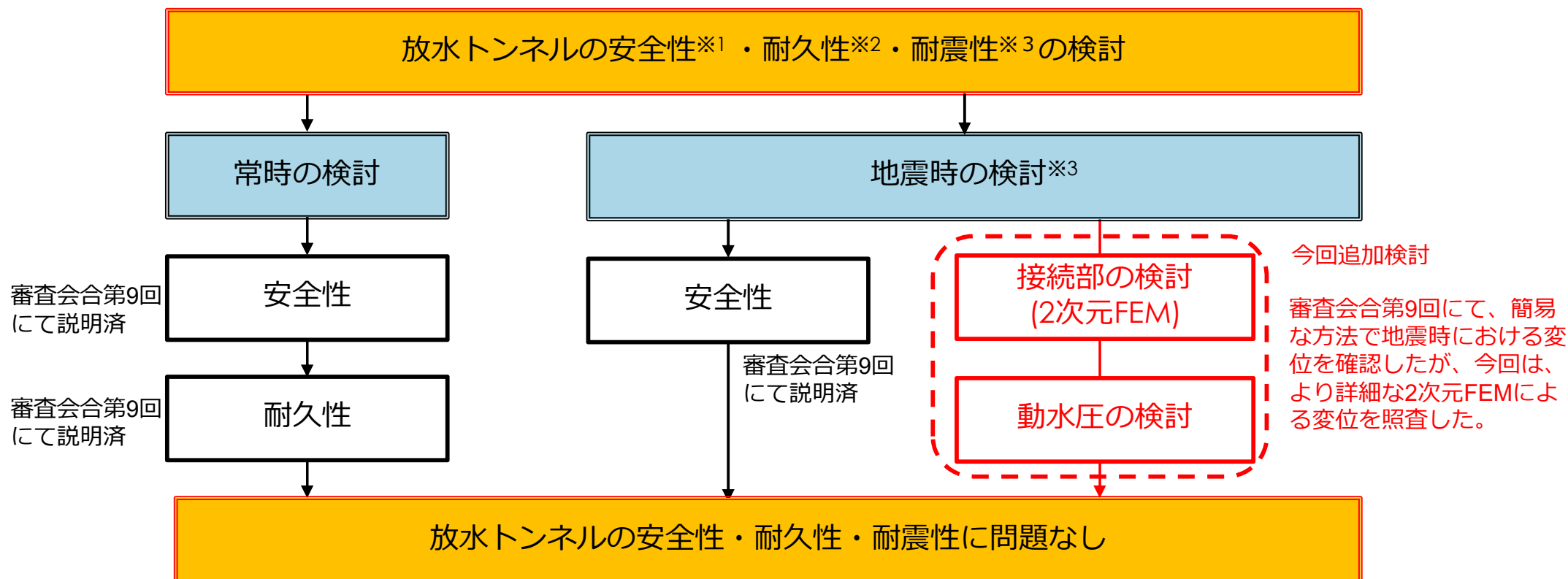
⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

- 放水設備について、地震時の変位照査結果における抜け出し量に対する許容値及びその設定根拠を整理して提示すること。
- 放水トンネルの横断面方向の応力度照査結果について、地震時の地盤変位による応力増分に対する裕度を整理して提示すること。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-1. 審査会合第9回の検討と追加検討内容

- 放水トンネルの検討フローは以下の通り。
- 今回は、放水トンネルの地震時における、接続部の健全性および動水圧を考慮した健全性を確認した。



放水トンネル 構造検討フロー

- ※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること。
- ※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと。
- ※3 耐震性：耐震Cクラスとし照査を行う。

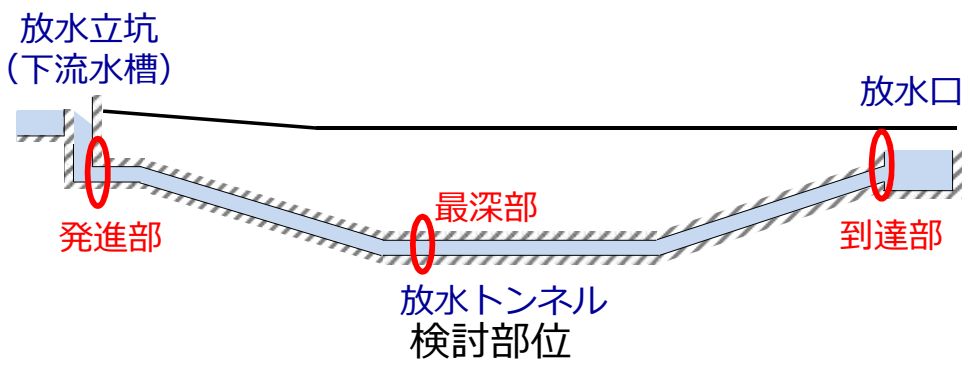


2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-2. 応力度照査結果①

➤ 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

検討荷重	荷重の組合せ		
	常時	地震時* (建設時)	地震時* (供用時)
自重	○	○	○
載荷荷重	○	○	○
土圧	○	○	○
内水圧(波浪含む)	○	○	○
外水圧(波浪含む)	○	○	○
地震時慣性力		○	○



※地震時はトンネルが建設時と供用時に分けて照査を実施した。
(理由)
【建設時(空水時)】:内水圧が作用しないため、地震時の安全性では最も厳しい荷重条件となる。但し、建設中の空水時を想定し照査を実施した。
【供用時(満水時)】:工事が完成した以降の満水時を想定し照査を実施した。

- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認。

覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

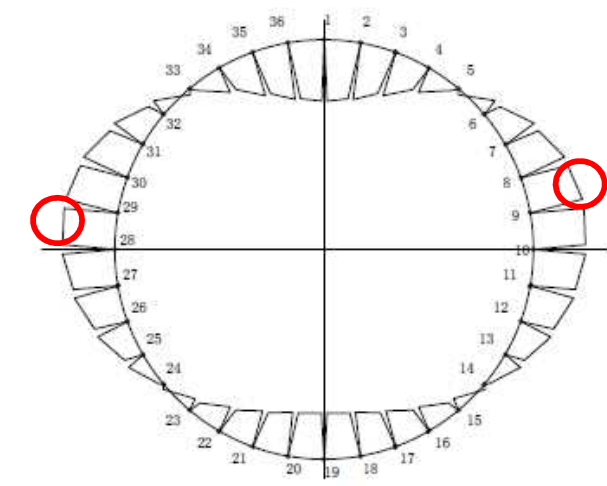
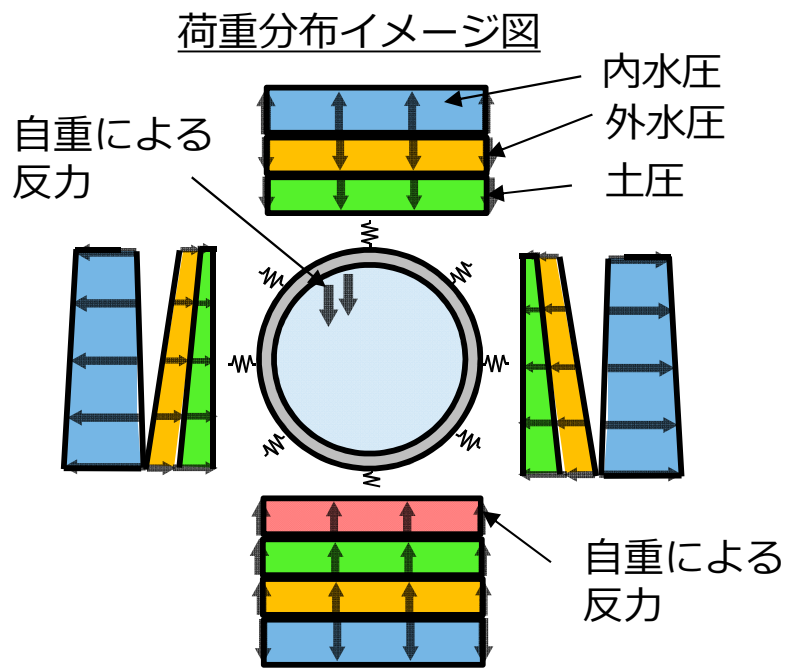
検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (発進部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	78*	200	0.39
覆工板 (最深部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	91*	200	0.46

*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

①-3. 応力度照査結果②

■ 各検討部位の応力度照査結果

【常時・満水時(短期水位:T.P.+9.3m)・土被り2D】



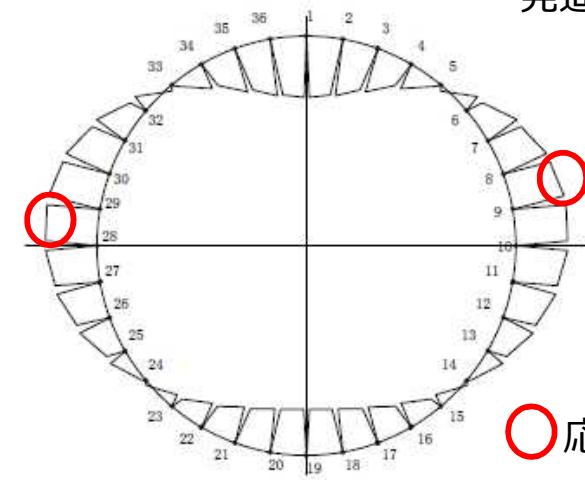
発進部 断面力図(曲げモーメント)

※断面力図のスケールは
発進部と最深部で異なる

覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

検討部位	応力度照査 (作用/許容)
	曲げ モーメント
覆工板 (発進部)	0.39
覆工板 (最深部)	0.46

※赤字：応力度照査の最大値



最深部 断面力図(曲げモーメント)

○ 応力度照査 最大位置

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-4. 地震時のクリティカルケース

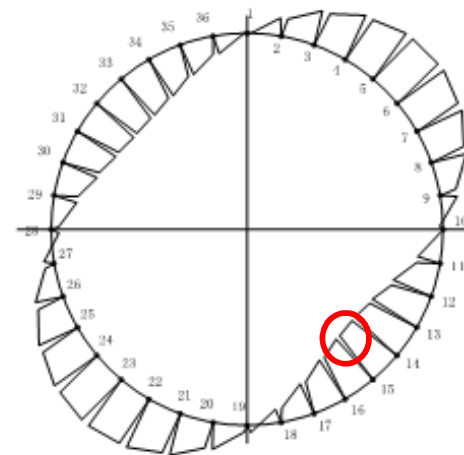
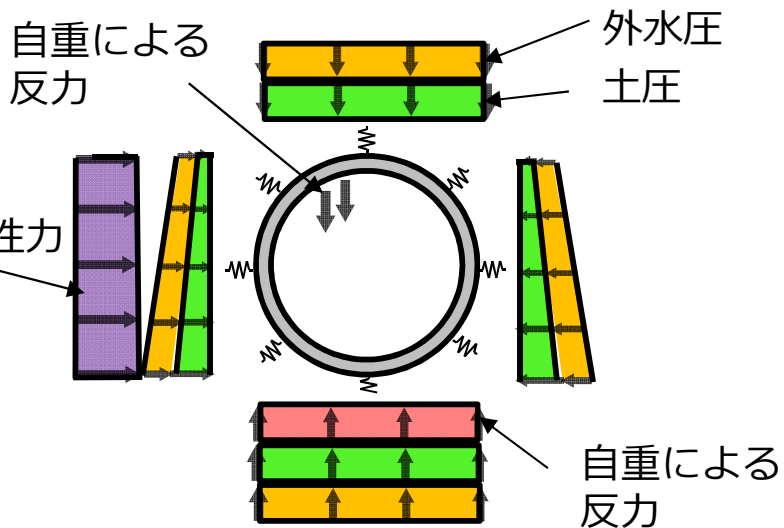
- 地震時における放水トンネルは、左図に示す通り空水時がクリティカルケースとなる。
- 満水時は、右図に示す通り地震時慣性力と内水圧が逆向きに作用し、水平力を低減させるため、クリティカルケースとならない。

	地震時+空水時 (地震時におけるクリティカルケース)	地震時+満水時
検討荷重イメージ		
説明	<ul style="list-style-type: none"> ・内水圧が作用しないため、土圧、外水圧を打ち消さない上図の 때가クリティカルケースとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・内水圧は地震時慣性力を低減させる方向に働くため、内水圧が作用する場合は、見かけ上の水平力が大きくなり、クリティカルケースとならない。

各検討部位の応力度照査結果

【常時+地震時・空水時・土被り2D】 建設時の空水時（外水圧のみ）を想定

荷重分布イメージ図



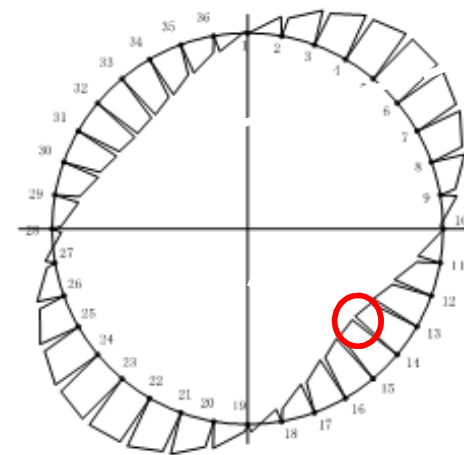
発進部 断面力図(曲げモーメント)

※断面力図のスケールは発進部と最深部で異なる

地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

検討部位	応力度照査 (作用/許容)	
	曲げ モーメント	圧縮力
覆工板 (発進部)	0.15	0.27
覆工板 (最深部)	0.15	0.29

※赤字：応力度照査の最大値



最深部 断面力図(曲げモーメント) ○ 応力度照査 最大位置

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【補足】地震時に最も厳しい部位の照査結果

■ 各検討部位の応力度照査結果

発進部の地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査結果

検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (発進部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	－ (全圧縮)	200	－
	常時+地震時	鉄筋	曲げモーメント	46	300	0.15
	常時	コンクリート	圧縮力	2.9	16	0.18
	常時+地震時	コンクリート	圧縮力	6.4	24	0.27

最深部の地震時における覆工板(セグメント) 応力度照査結果

検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	作用応力度/ 許容応力度
覆工板 (最深部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	－ (全圧縮)	200	－
	常時+地震時	鉄筋	曲げモーメント	45	300	0.15
	常時	コンクリート	圧縮力	3.4	16	0.21
	常時+地震時	コンクリート	圧縮力	7.0	24	0.29

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【参考】検討ケース

検討ケース

検討部位	荷重パターン	トンネルの状態	土圧	外水位
覆工板 (発進部)	常時	空水時	2D	G.L.±0.00
		内水圧作用時(長期※1)		
		内水圧作用時(短期※2)		
	常時+地震時	空水時	0.175D	
		内水圧作用時(長期)		
		内水圧作用時(短期)		
常時+地震時	空水時※3)	2D		
		0.175D		
覆工板 (最深部)	常時	空水時	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)
		内水圧作用時(長期)		L.W.L(T.P.-0.778m)
		内水圧作用時(短期)		
	常時+地震時	空水時	0.175D	H.W.L(T.P.+0.757m)
		内水圧作用時(長期)		L.W.L(T.P.-0.778m)
		内水圧作用時(短期)		
常時+地震時	空水時※3)	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)	
		0.175D	L.W.L(T.P.-0.778m)	

赤字:
覆工板(発進部)の
クリティカルケース

青字:
覆工板(最深部)の
クリティカルケース

※1)50年確率の有義
波高から求めた
内水位T.P.+6.40m

※2)50年確率の最大
波高から求めた
内水位T.P.+9.30m

※3)地震時に最も
厳しいケース

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【参考】地震時に動水圧の考慮の必要性

- 地震時における放水トンネル内の動水圧は、放水トンネル内が希釈水で満水になる場合で算出。
- 放水トンネルの内水圧と比較したところ、動水圧は小さいため、動水圧の検討は不要と判断した。

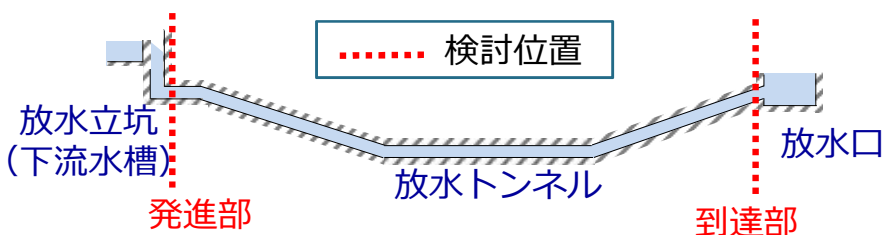
	地震時 内水圧+動水圧を考慮した場合
検討荷重 イメージ	
検討結果	動水圧は内水圧に比べて小さいため考慮する必要はないと判断
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内水圧(水平下部)：約200-370kN/m² ・ 動水圧(トンネル内)：最大約5kN/m² (動水圧 = 内水重量 × 水平震度0.2) N値50以上の岩盤内の間隙水圧はほとんど上昇しないため、外側からの動水圧は考慮しない(※)。

※仮にウェスターガード式で算定した場合でも、内水圧の方が大きく、動水圧を考慮しない場合の方が地震時は安全側の評価となる。

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-5. 地震時の検討モデルと変位の評価方法

- 地震時には地中接合部や立坑取付部など覆工構造が急変する場合に検討が必要とされているため※1)、放水トンネルと、下流水槽および放水口ケーソンの接続部を検討。
- 今回検討では、詳細に地震時の検討を行う※2)のために2次元FEM解析を用い、放水トンネル軸直角方向および放水トンネル軸方向における接続部の相対変位 Δ を算出。
- 放水トンネルと、下流水槽および放水口ケーソンを繋ぐ接続ボルトは、変位差に抵抗するためのせん断力 S および引張力 P が生じるため、この各々の力により接続ボルトが破壊しないことを確認。



地震時接続部の検討位置

※1)トンネル標準示方書,P.62
 ※2)審査会合第9回にて、
 簡易な方法による地震時の変位の
 検討結果を報告済み

$K_s=45,000\text{kN/m}$
 $K_v=60,000\text{kN/m}$
 (小口径セグメント用スクリーボルト(M16)の
 開発,平成22年,土木学会第65回年次学術講演会)



スクリーボルト継手
(接続部)



セグメントとスクリーボルト継手(接続部)

トンネル軸直角方向の検討	トンネル軸方向の検討
<p>相対変位量Δ</p> <p>せん断力S</p> <p>接続ボルト(M16)</p>	<p>相対変位量Δ</p> <p>引張り力P</p> <p>接続ボルト(M16)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • $S = k_s \times \Delta$ • $\tau = S/A < \tau_a$ <p>※k_s: 接続ボルトのせん断ばね定数 τ: 接続ボルトのせん断応力度 A: 接続ボルトの断面積</p>	<ul style="list-style-type: none"> • $P = k_v \times \Delta$ • $\sigma = P/A < \sigma_a$ <p>※k_v: 接続ボルトの引張ばね定数 σ: 接続ボルトの引張応力度 A: 接続ボルトの断面積</p>

接続ボルト検討イメージ

2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

①-6. 地震時のトンネル軸直角方向の検討モデル

- 地震時の下流水槽、放水口ケーソンおよび放水トンネル接続部における、トンネル軸直角方向の変位差 Δ は、2次元FEM解析により算出

- ・周辺地盤：平面ひずみ要素としてモデル化
- ・トンネル：梁要素、立坑：平面ひずみ要素としてモデル化
- ・水平震度：0.2を一様に作用
- ・解析領域：下方は基盤層位置、側方は5.0H確保

(H：トンネル～基盤層の深さ(=約50m))

モデル図イメージ

検討箇所	解析モデル (トンネル断面)	解析モデル (下流水槽・放水口ケーソン)	最大相対変位量 Δ (= $\Delta_1 - \Delta_2$)
発進部	<p>埋戻し土 砂岩 泥岩</p> <p>放水トンネル変形量 → Δ_1</p>	<p>埋戻し土 砂岩 泥岩</p> <p>下流水槽変形量 → Δ_2</p>	0.5mm
到達部	<p>泥岩 砂岩</p> <p>放水トンネル変形量 → Δ_1</p>	<p>泥岩 砂岩</p> <p>放水口ケーソン変形量 → Δ_2</p>	0.5mm

トンネル軸直角方向 モデル図および相対変位量

