

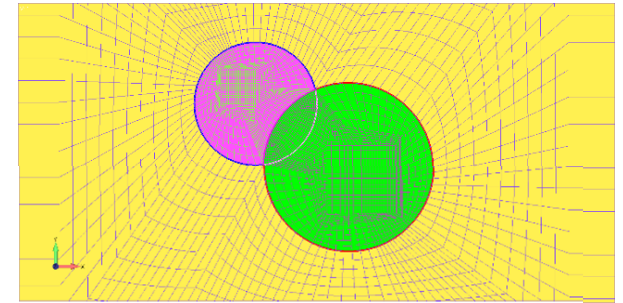
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

1

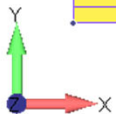
- 解析モデルは、既往文献「シールド掘削における地盤変状予測（土木技術資料2001国土交通省土木研究所発行）」に基づき設定。
- 影響の大きい範囲について、メッシュを細かく設定。

- ・解析領域の設定は「シールド掘削における地盤変状予測（土木技術資料2001国土交通省土木研究所発行）」に準拠
- ・トンネル側壁面から側方までの距離を $2H$ (H : 土被り) に設定
- ・トンネル底から下方境界までの距離は $1D$ に設定する (D : トンネル径)



東電シールド
(セグメント外径1.8m)

下水管シールド
(外径2.55m)



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

2

解析ステップ

- ・初期状態からの施工過程を再現した解析ステップ
- ・応力解放率は20%(洪積地盤)



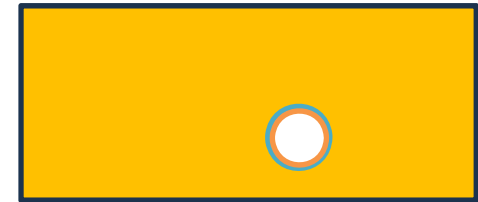
1. 初期応力解析
(地盤モデル構築)



2. 下水管20%
応力解放（掘削に伴う
地盤の応力解放）



3. セグメント設置
+ 下水管80%
応力解放
(下水管設置後の時間経過に伴う地盤の応力解放)



4. 二次覆工追加
(下水管内部補強完了)



5. 掘削（既設セグメント
破損部+東電シールド）
20%応力解放



6. 東電セグメント設置 +
掘削（既設セグメント
破損部+東電シールド）
80%応力解放

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

3

地盤物性値

- 地質調査から得られた試験結果やN値を基に地盤物性値を設定。
 - ✓ 近傍の地質調査結果の湿潤単位体積重量より設定
 - ✓ 変形係数はUU三軸試験結果、N値推定式より設定
 - ✓ ポアソン比はトンネル標準示方書（開削工法編）より土質・N値より推定

地層名	土質区分	N値	単位体積重量 γ (kN/m^3)	変形係数 αE_0 (kN/m^2)	ポアソン比
立川 ローム層	礫混じり シルト	3	15.0	61160 (UU三軸)	0.45
田名原 礫層	玉石混じり砂礫	50	22.0	140000 ($E=2800N$)	0.30

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

4

構造特性値

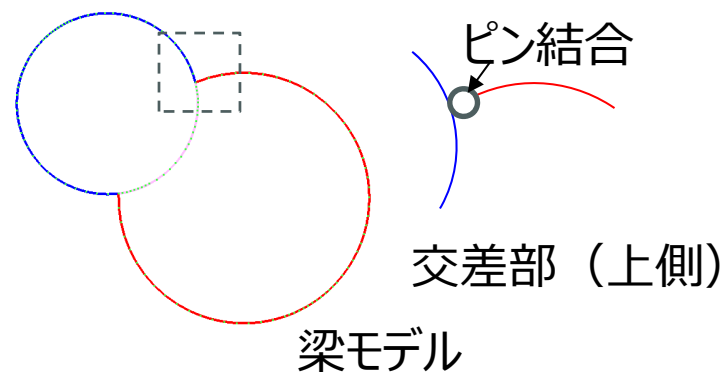
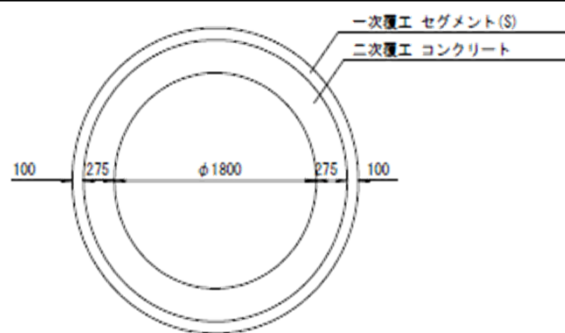
■ 設計図書等に基づき条件を設定。

- ✓ 下水管・東電シールドともにセグメントを梁要素でモデル化
- ✓ 下水管STセグメントは設計資料より断面定数を設定
- ✓ 下水管はSTセグメントと二次覆工からなるが、二次覆工は構造体としては無視し、自重のみ考慮

	材質	自重w (kN/m/m)	ヤング率E (kN/m ²)	断面積A (m ²)	断面二次 モーメントI (m ⁴)
下水管 セグメント	鋼材	1.00	2.0×10^8	3.236×10^{-3}	3.471×10^{-6}
下水管 二次覆工	コンクリート	9.19	—	—	—
東電シールド セグメント	鋼材	12.21 (マシン)	2.0×10^8	2.200×10^{-3}	1.414×10^{-6}

下水管セグメントの仕様

- ・外径 : 2,550mm
- ・セグメント幅 : 900mm
- ・桁高 : 100mm
- ・スキンプレート : 3.2mm
- ・主桁 : 12mm
- ・重量 : 6.96kN/Ring



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

5

許容値

- 設計図書等に鋼材の規格が確認できなかったため、安全側の設定で仮定
【長期・短期許容応力度】
 - ✓ **鋼製セグメントの許容応力度はトンネル標準示方書（シールド工法編）に準拠し、SS400のものを仮定**

材料	照査項目	長期許容応力度 (常時)	短期許容応力度 (地震時)
鋼製セグメント (SS400)	曲げ圧縮	160N/mm ²	245N/mm ²

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

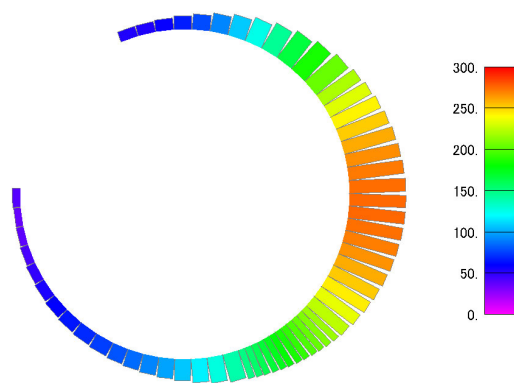
現状

6

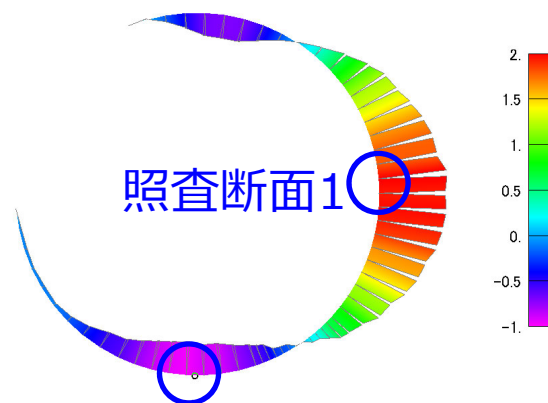
判定結果

- 曲げモーメントが最大または最小の箇所で照査を行った結果、発生応力が長期許容応力度を下回ることを確認。

		軸力 N(kN)	曲げ モーメント M(kNm)	発生応力 σ (N/mm ²)	長期許容応力度 σ_a (N/mm ²)	判定
照査断面1	セグメント	261.1	1.759	110.6	160.0	OK
照査断面2	セグメント	111.8	-1.339	45.8	160.0	OK



軸力図(kN)



照査断面1
照査断面2
曲げモーメント図(kNm)

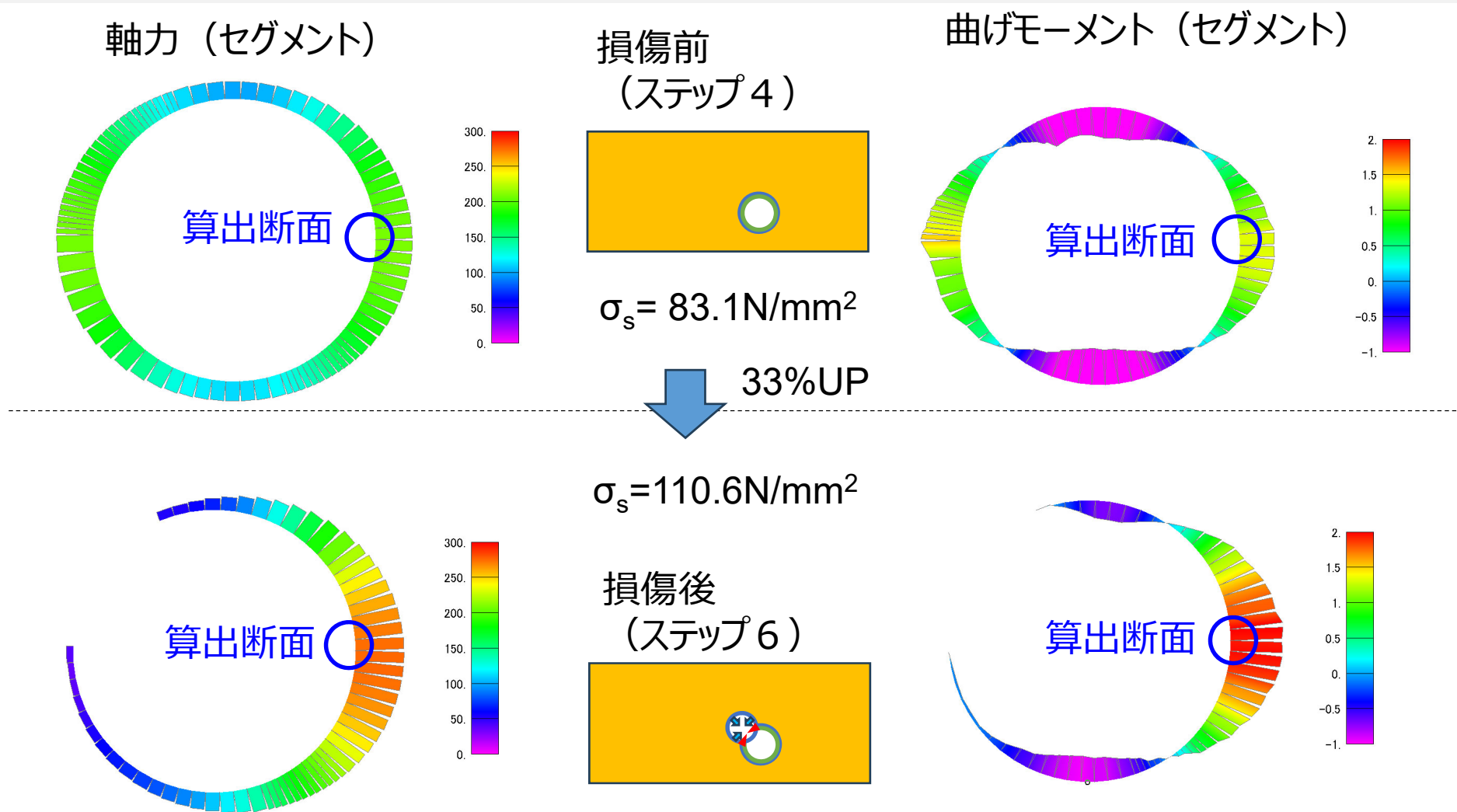
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

7

応力変化

- 下水管の損傷前と損傷後の応力増分は、約33%であることを確認。



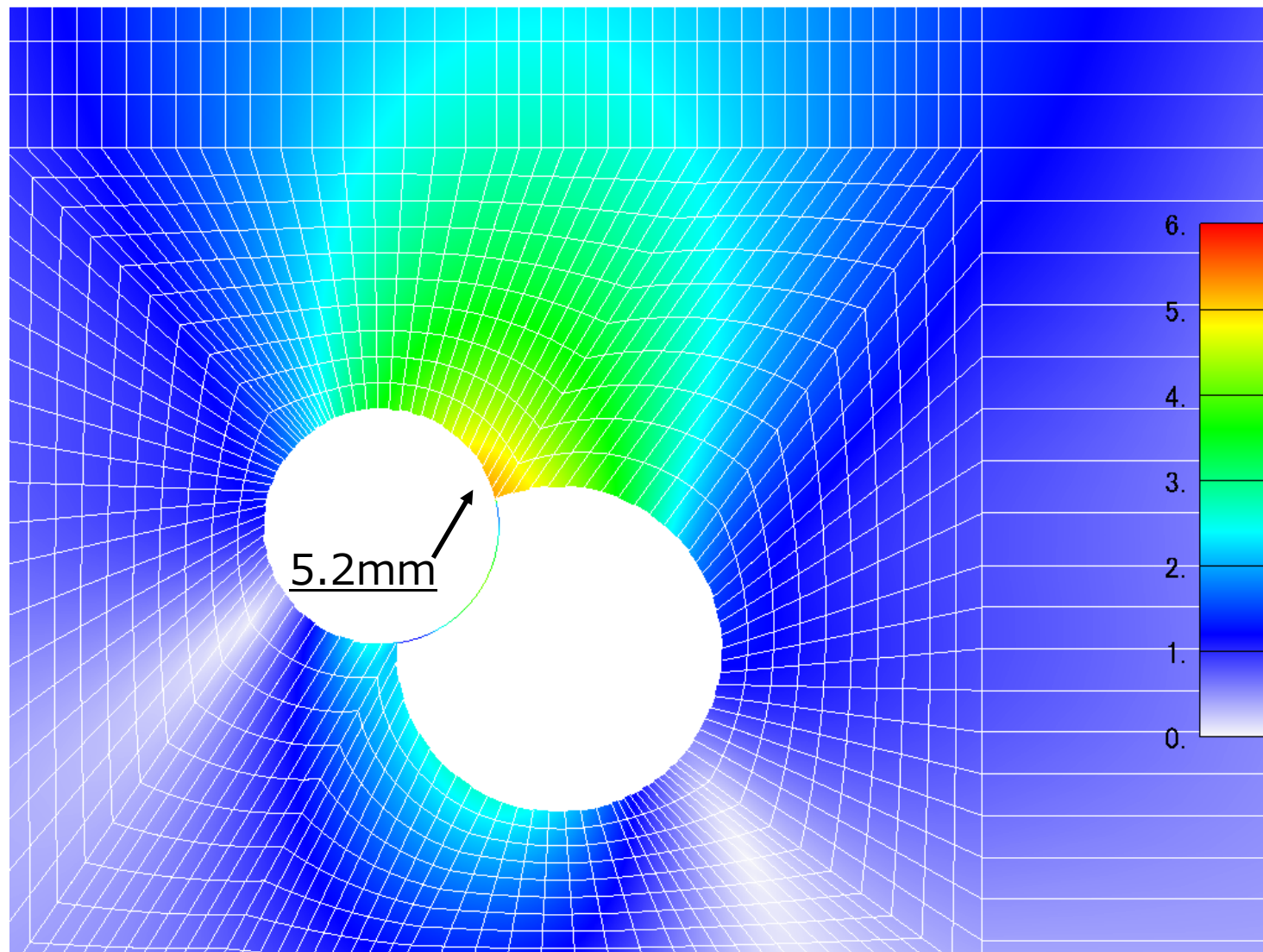
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

現状

8

変位図

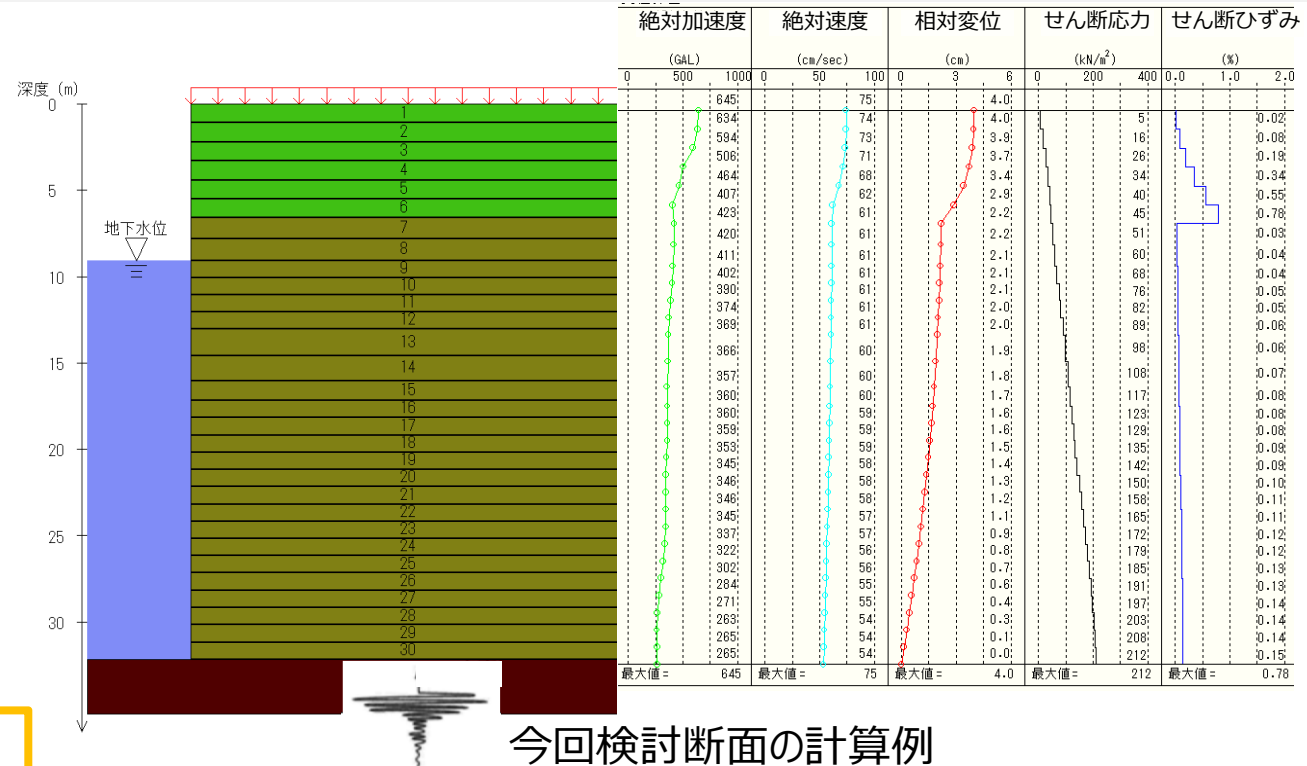
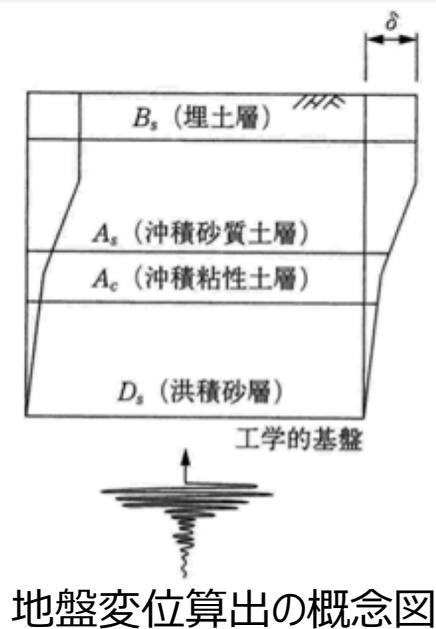
- 変位が最も大きい箇所の数値は5.2mmであった。



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

9

- 地震時安定性は、レベル２地震動を用いて一次元地震応答解析により地盤変位を算出する。その際にトンネル位置での変位を確認し、トンネル位置での変位をFEM解析にて入力し、トンネルに与える応力を確認する。



レベル1地震動（L1地震動）

供用期間中（75年）に1～2回程度遭遇すると考えられる大きさの地震動。

レベル2地震動（L2地震動）

供用期間中に発生する確率は低いがその地点に起こり得る強い地震動であり、大規模なプレート境界地震による地震動および地点近傍の活断層地震による地震動。

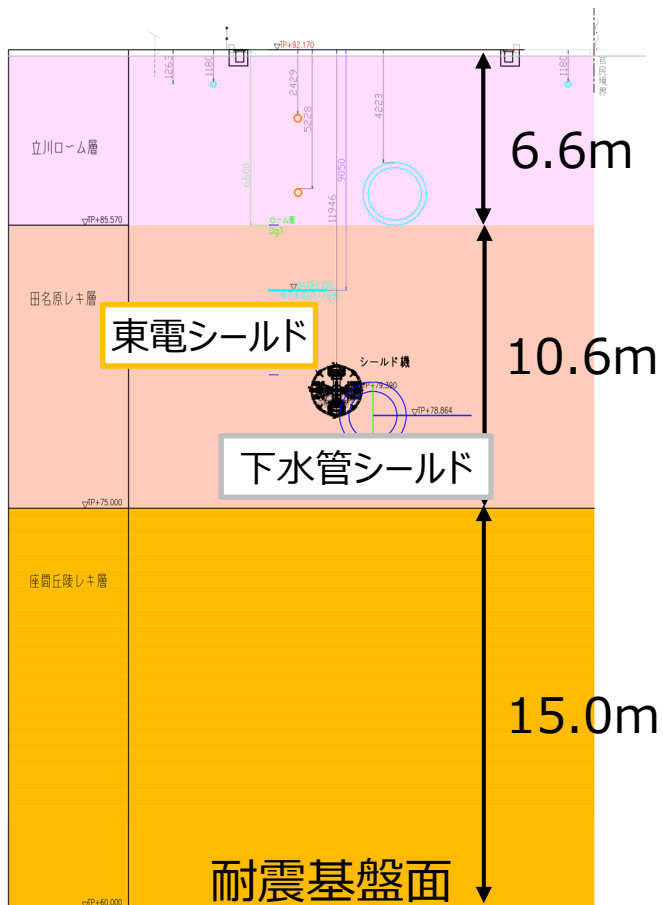
今回検討地震動

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

11

地盤物性値

- 砂礫層を耐震設計上の基盤面とし、以下の物性値にて地震時の地盤変位を算出する。
なお、せん断波速度は道路橋示方書の通りにN値より換算し設定する。



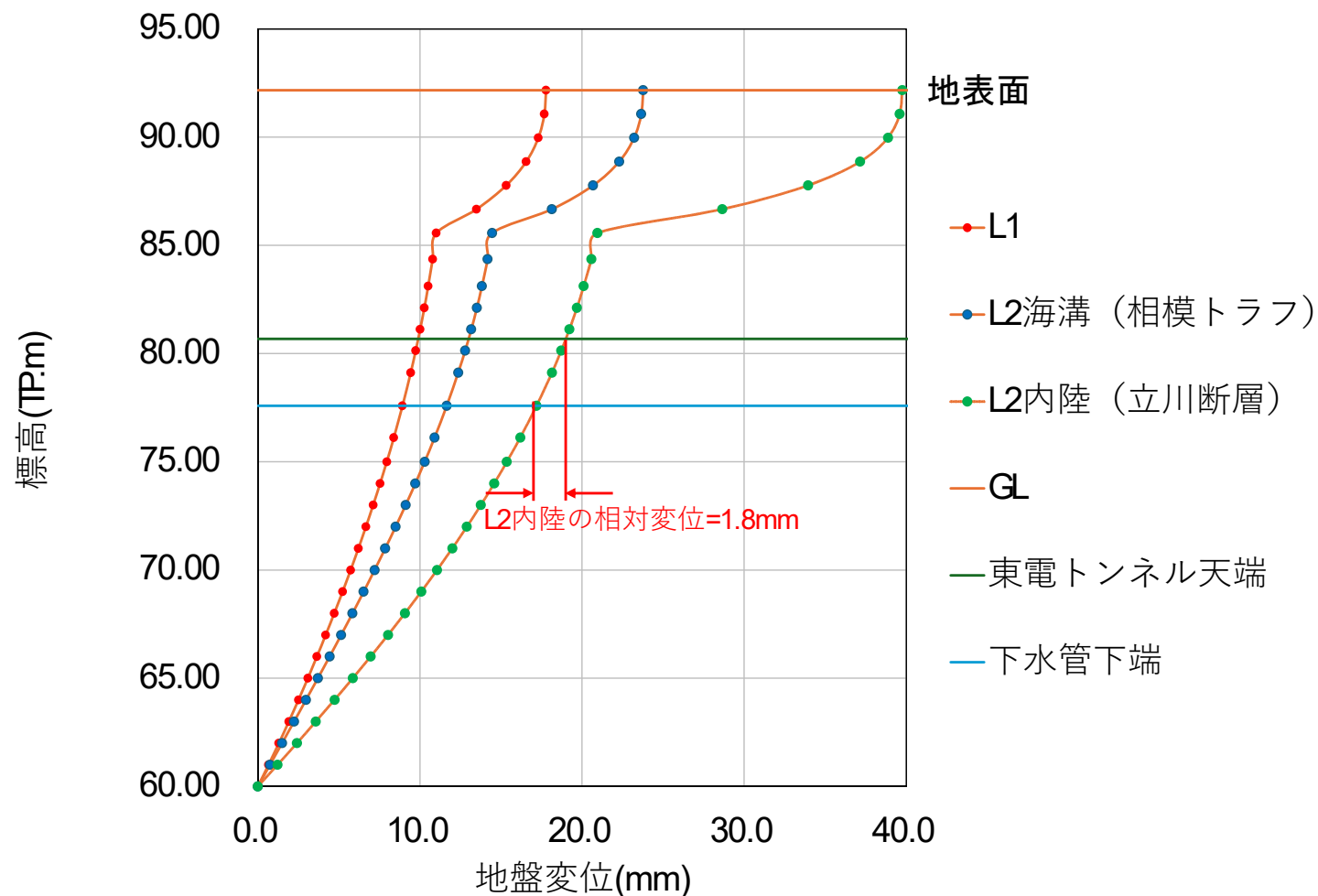
地層	土質	層厚 (m)	N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断弾性波速度 V_s (m/s)
立川ローム層	粘性土	6.6	3	15.0	144
田名原礫層	砂質土	10.6	50	22.0	295
座間丘陵礫層	砂質土	15.0	50	22.0	295

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

12

相対変位

- 入力地震動は近傍にある内陸地震および海溝地震を採用し、硬質地盤内にあるため、変位の大きいL2内陸を見ても東電トンネル天端-下水管下端間の相対変位は1.8mmであり、であり、地盤変位は小さい。



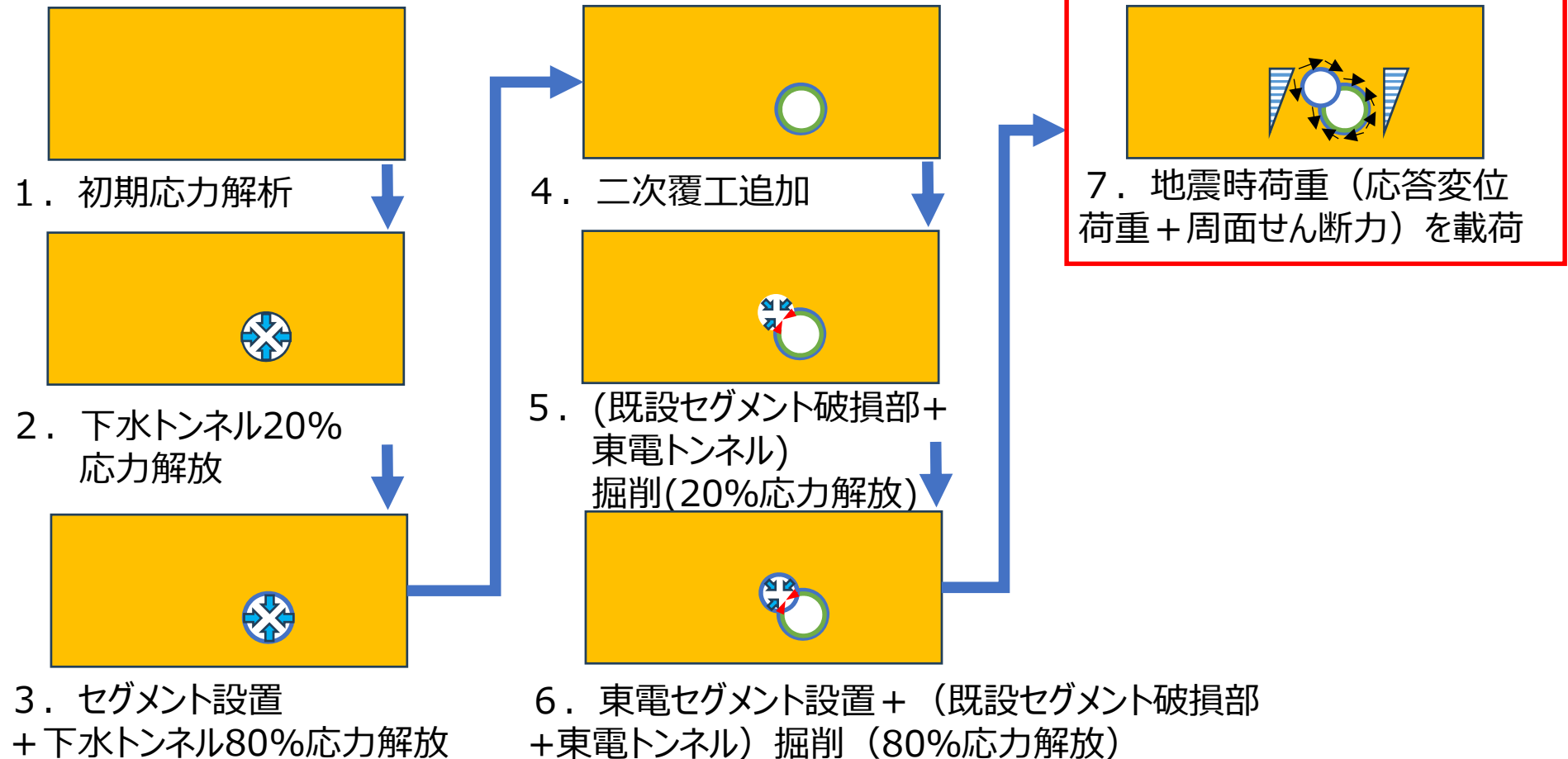
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

13

解析ステップ

- 一次元地震応答解析より算出した地盤変位を外力としてFEM解析のトンネル周辺の要素に入力し、トンネル自体の安定性を評価する。

- ✓ 初期状態からの施工過程を再現した解析ステップ
- ✓ 応力解放率は20%（洪積地盤）
- ✓ 既往のFEM解析にSTEP7を追加し、地震時荷重を載荷

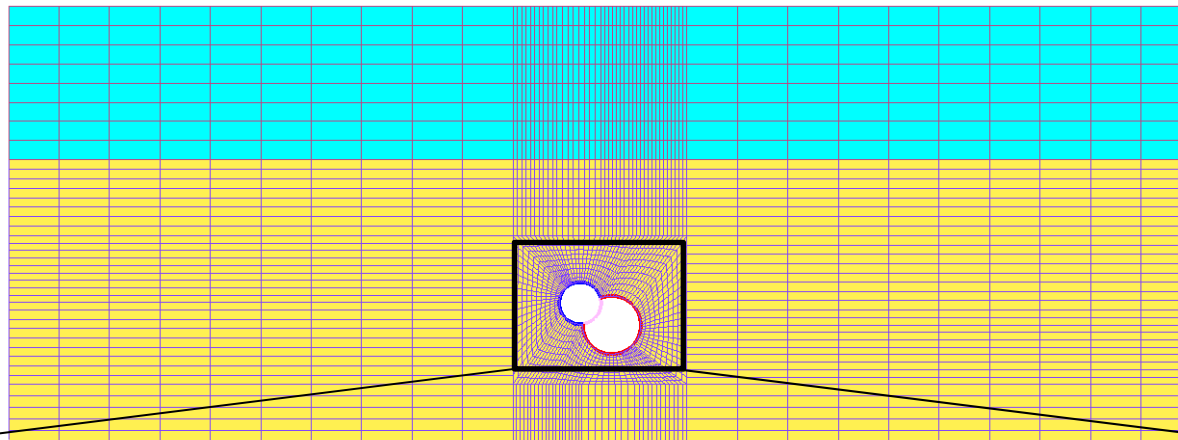


議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

14

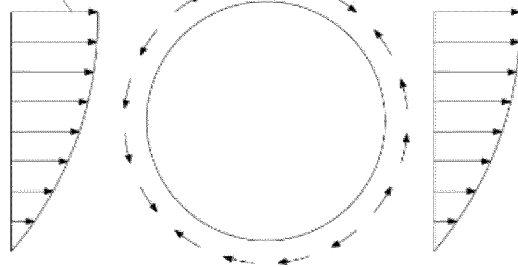
地震時荷重

単体のセグメントの地震時の
荷重方法を模倣

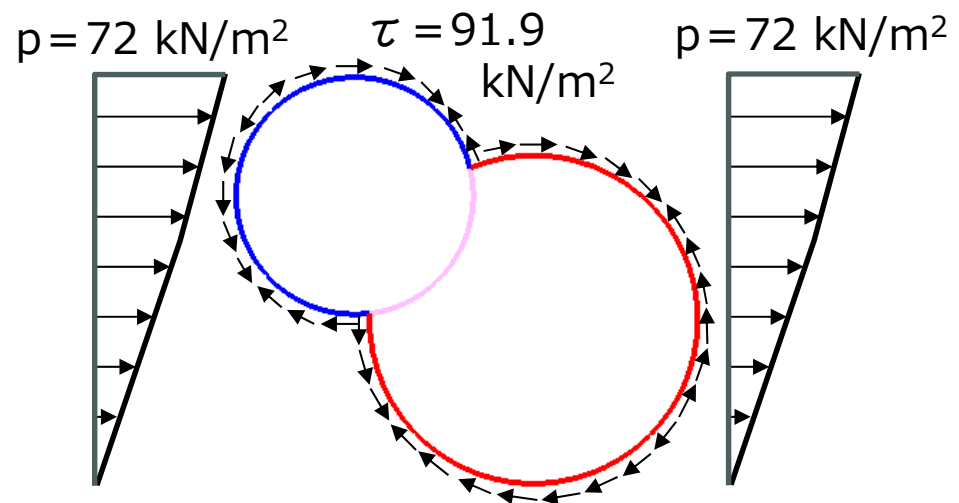


相対変位量 ΔU_h

周面せん断力 τ



地震時荷重図



応答変位荷重 p = 水平方向地盤反力係数 k $\times$ 相対変位量 ΔU
= $40,000 \times 1.8 \times 10^{-3} = 72 \text{ kN/m}^2 \cdots$ (上端位置の荷重)

周面せん断力 τ = (上端の地震時せん断力 τ_u + 下端の地震時せん断力 τ_B) / 2
= $(82.2 + 101.6) / 2 = 91.9 \text{ kN/m}^2$

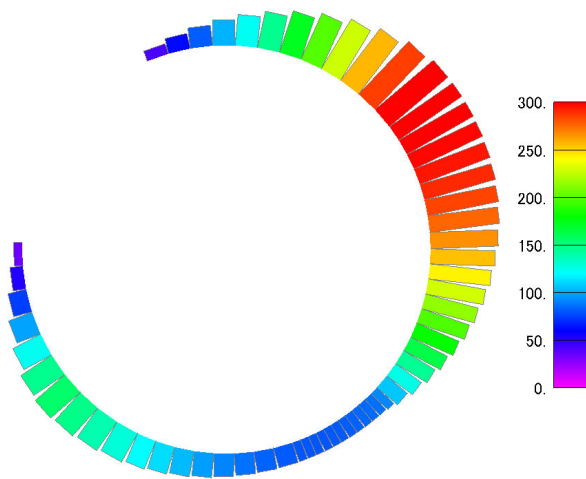
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

15

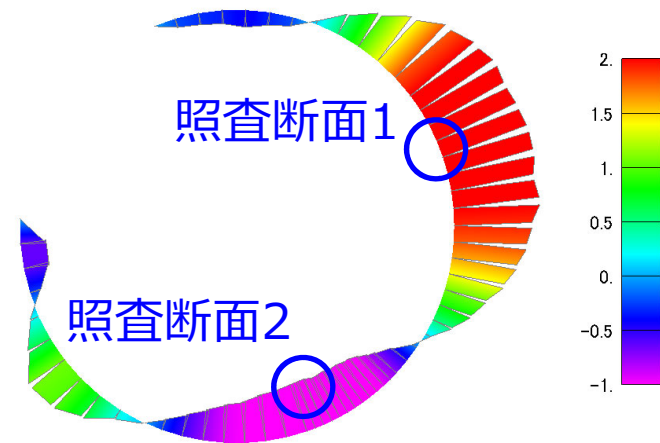
判定結果

- 鋼製セグメントの許容応力度はトンネル標準示方書（シールド工法編）に準拠し、SS400のものを仮定し、地震時のため短期許容応力度を採用。
- 曲げモーメントが最大または最小の箇所で照査を行った結果、発生応力が短期許容応力度を下回ることを確認。

		軸力 N(kN)	曲げ モーメント M(kNm)	発生応力 σ (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_a (N/mm ²)	判定
照査断面1	セグメント	295.2	2.203	128.7	245.0	OK
照査断面2	セグメント	80.2	-1.236	40.5	245.0	OK



軸力図(kN)



曲げモーメント図(kNm)

議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）地震時

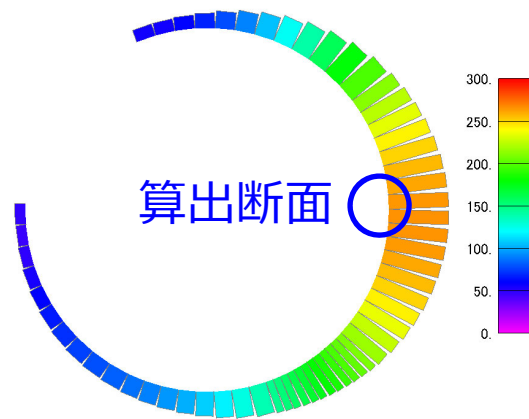
16

応力変化

- 下水管の損傷前と損傷後の応力増分は、約16%であることを確認。

軸力（セグメント）

曲げモーメント（セグメント）

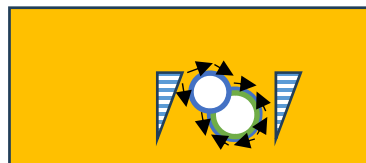
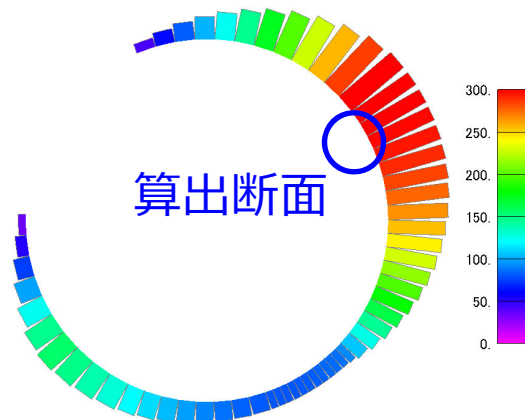
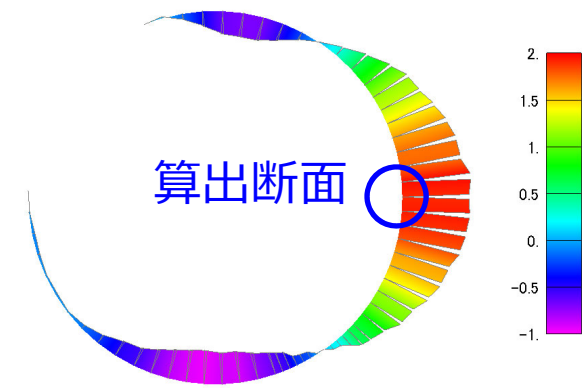


現状
(ステップ6)



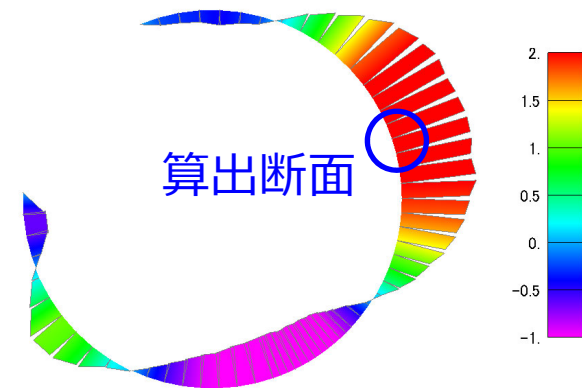
$$\sigma_s = 110.6 \text{ N/mm}^2$$

16.3%UP



地震荷重載荷後
(ステップ7)

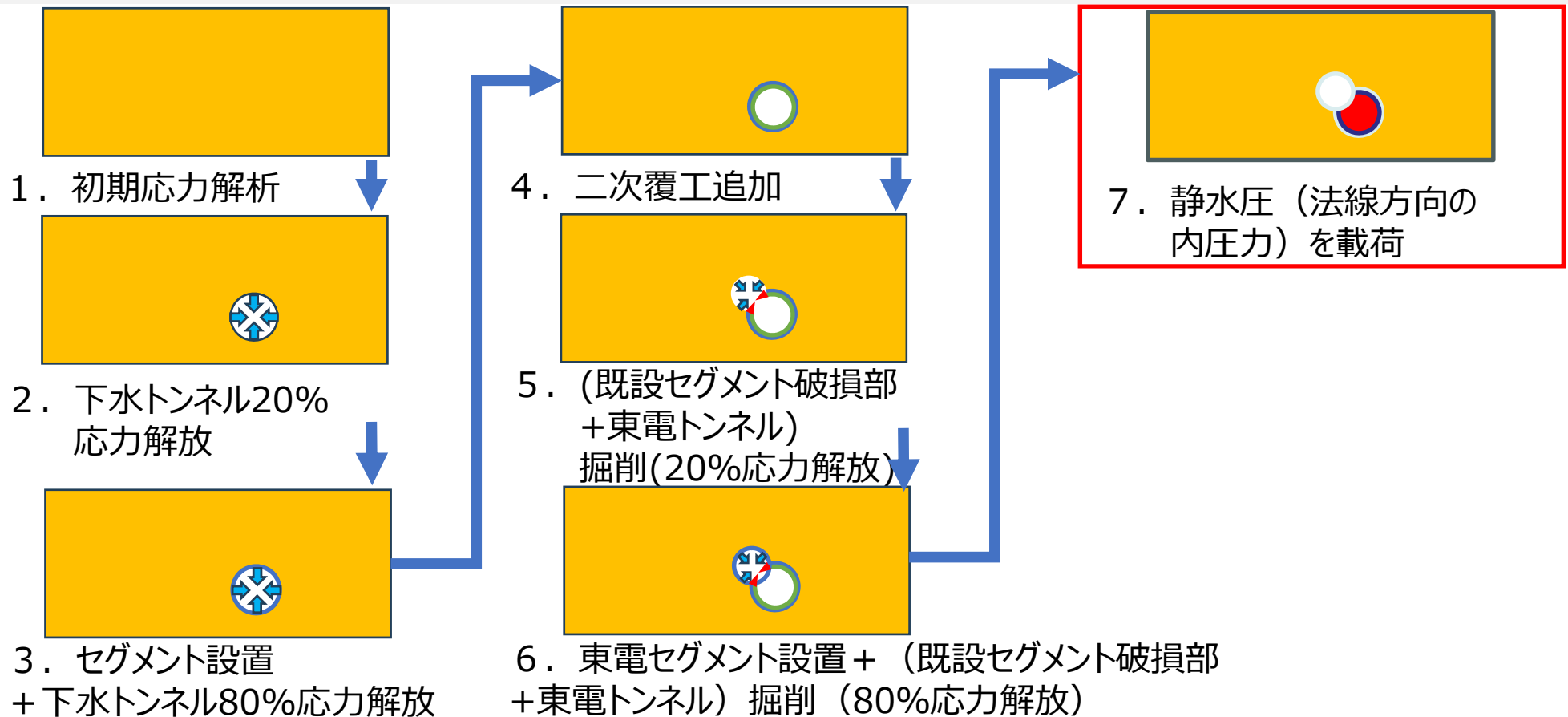
$$\sigma_s = 128.7 \text{ N/mm}^2$$



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）満水時

17

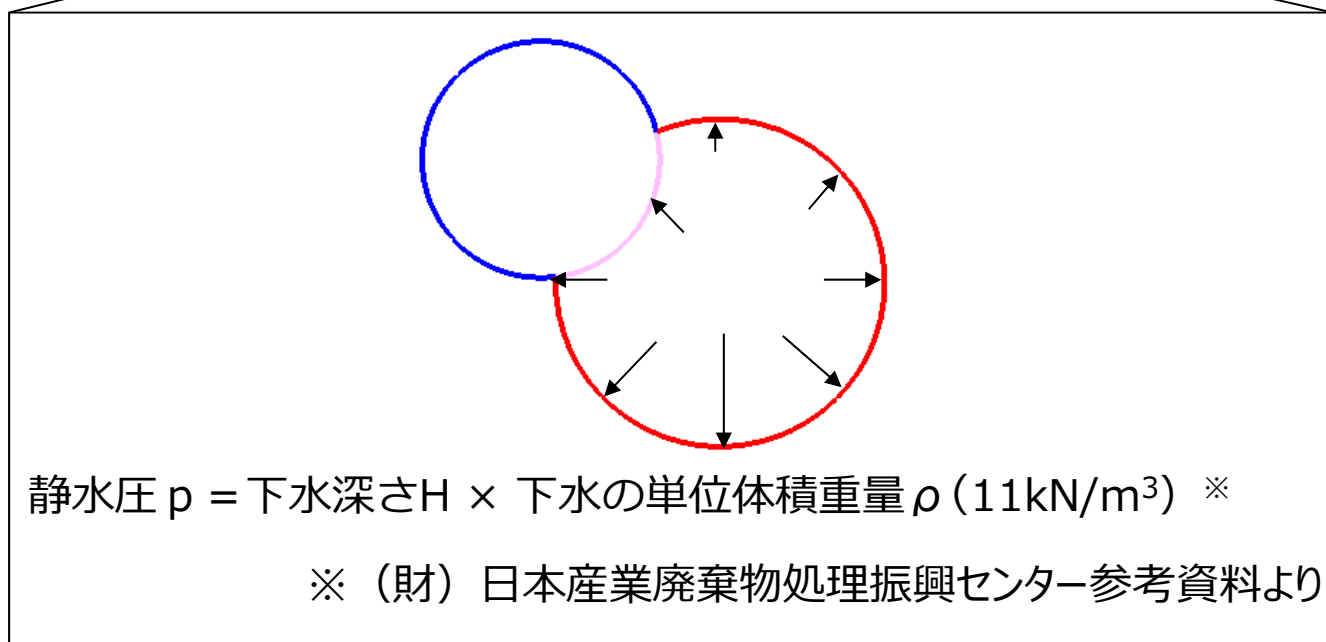
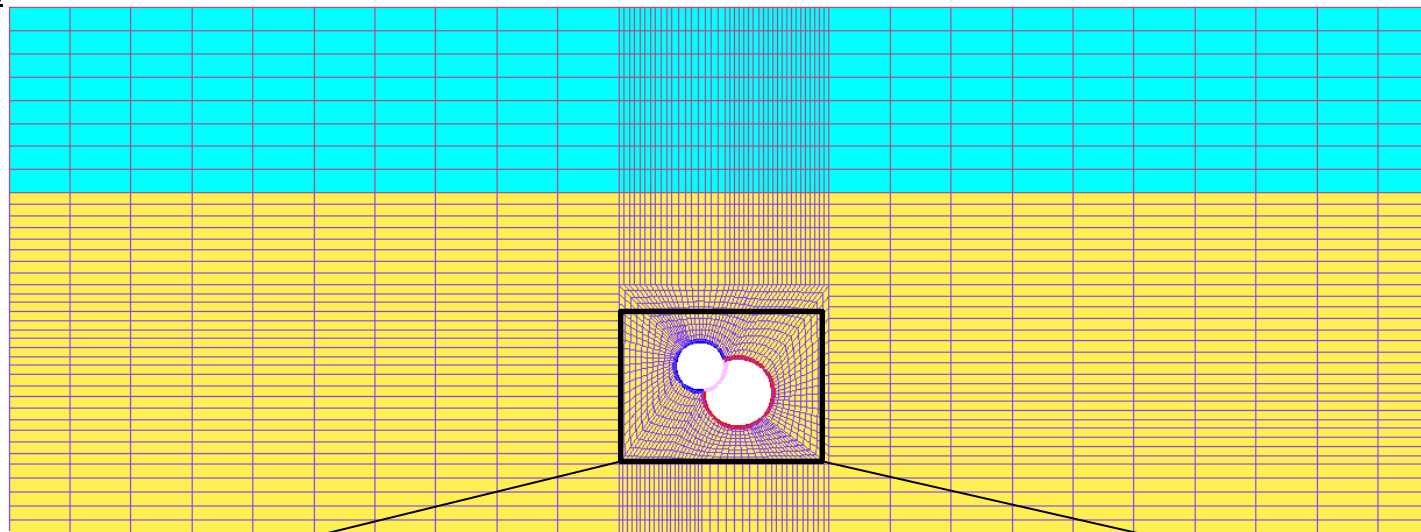
- 下水管満水時の内圧力をFEM解析のトンネル周辺の要素に法線方向に入力し、トンネル自体の安定性を評価する。
 - ✓ 初期状態からの施工過程を再現した解析ステップ
 - ✓ 応力解放率は20%（洪積地盤）
 - ✓ 既往のFEM解析にSTEP7を追加し、下水管満水時の静水圧を載荷（安全側に水位が下水管天端まで達する状況を想定）



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

満水時 18

満水時荷重



議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）満水時

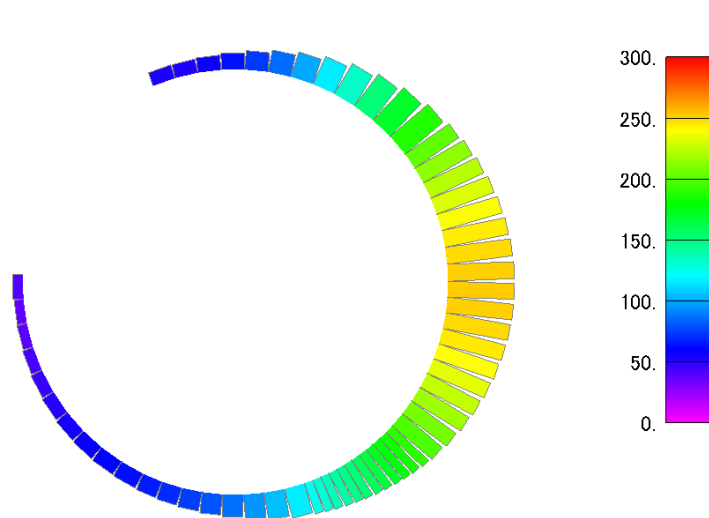
19

判定結果

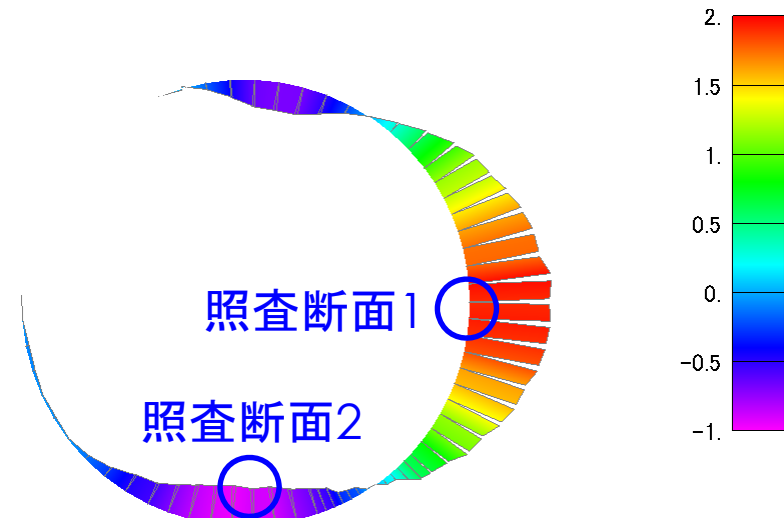
- 下水の単位体積重量は、参考資料から 11kN/m^3 とし、長期許容応力度を採用。
- 曲げモーメントが最大または最小の箇所で照査を行った結果、発生応力が長期許容応力度を下回ることを確認。

下水管満水時における下水トンネルの応力状態

		軸力 $N(\text{kN})$	曲げ モーメント $M(\text{kNm})$	発生応力 $\sigma(\text{N/mm}^2)$	長期許容 応力度 $\sigma_a(\text{N/mm}^2)$	判定
照査断面1	セグメント	251.0	1.972	111.1	180.0	OK
照査断面2	セグメント	86.6	-1.004	39.5	180.0	OK



軸力図(kN)



曲げモーメント図(kNm)

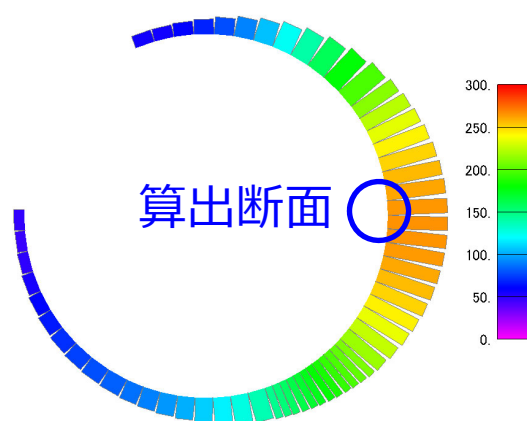
議題（３）現在の対応（下水管の強度評価）

満水時 20

応力変化

- 下水管の現状と満水時での応力増分は、約0.5%であることを確認。

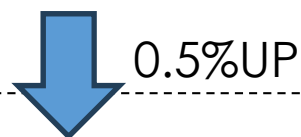
軸力（セグメント）



現状
(ステップ6)



$$\sigma_s = 110.6 \text{ N/mm}^2$$

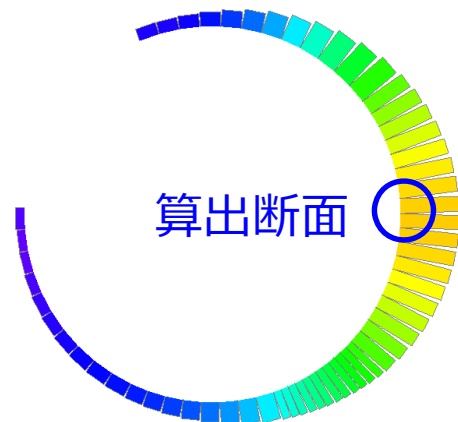


0.5%UP

$$\sigma_s = 111.1 \text{ N/mm}^2$$



下水満水荷重载荷後
(ステップ7)



曲げモーメント（セグメント）

