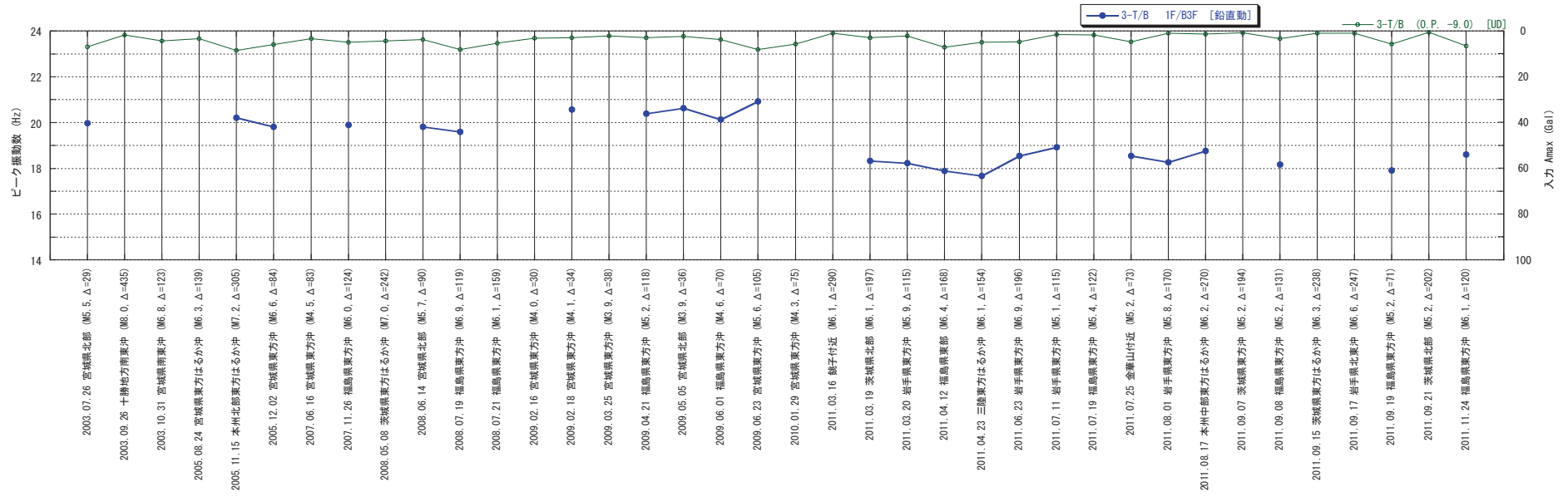


固有振動数（設計値） : UD方向 13.61Hz

図 3-50(2) ピーク振動数の評価結果（女川第3号機タービン建屋・鉛直動）（2010年～2016年）



固有振動数 (設計値) : UD方向 13.61Hz

図 3-50(3) ピーク振動数の評価結果 (小振幅地震) (女川第3号機タービン建屋・鉛直動)

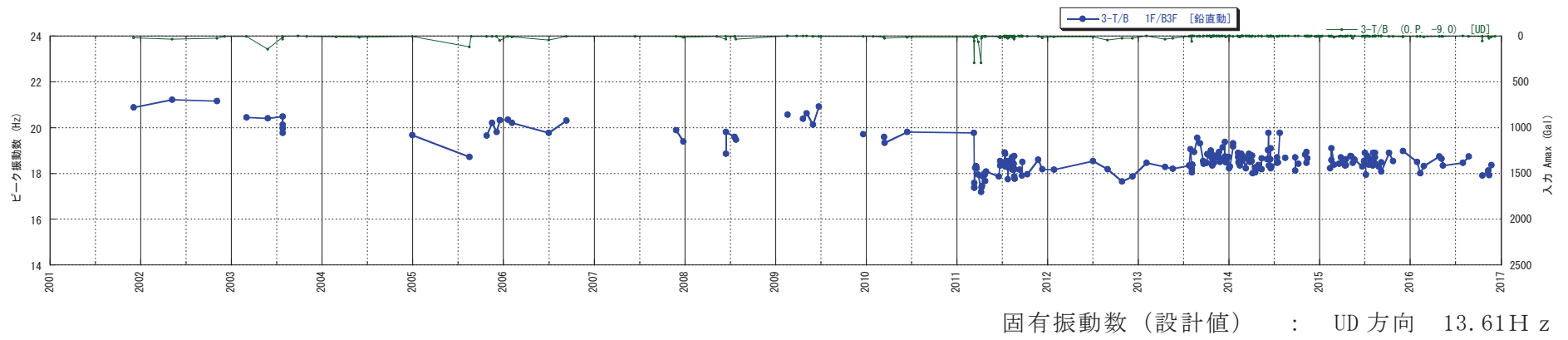
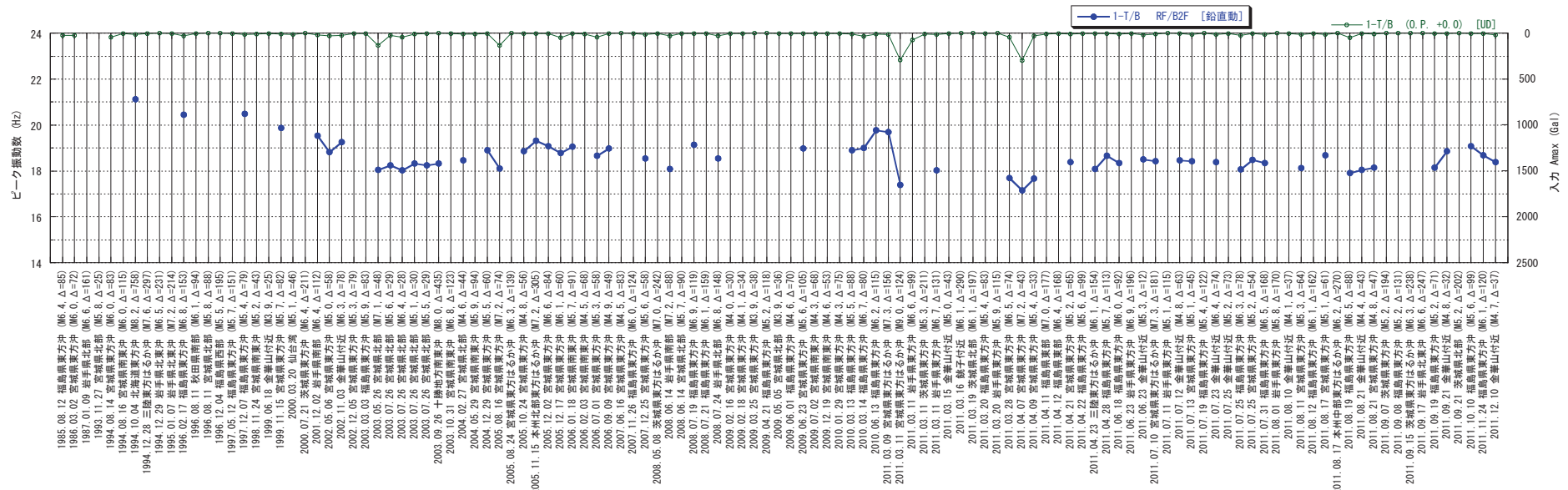
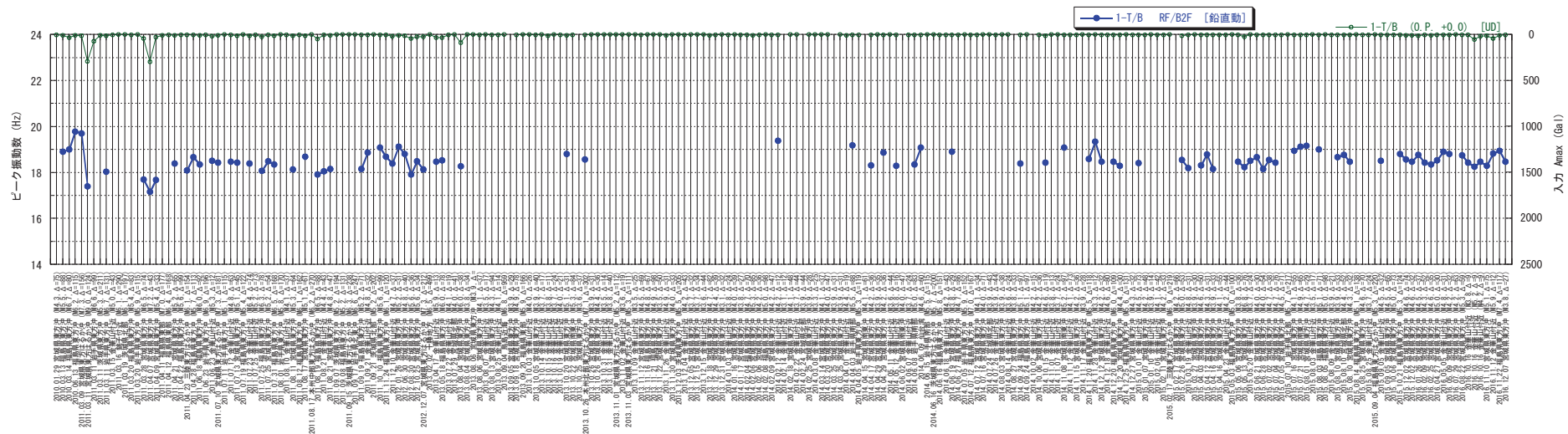


図 3-51 ピーク振動数の経年変化 (女川第 3 号機タービン建屋・鉛直動)



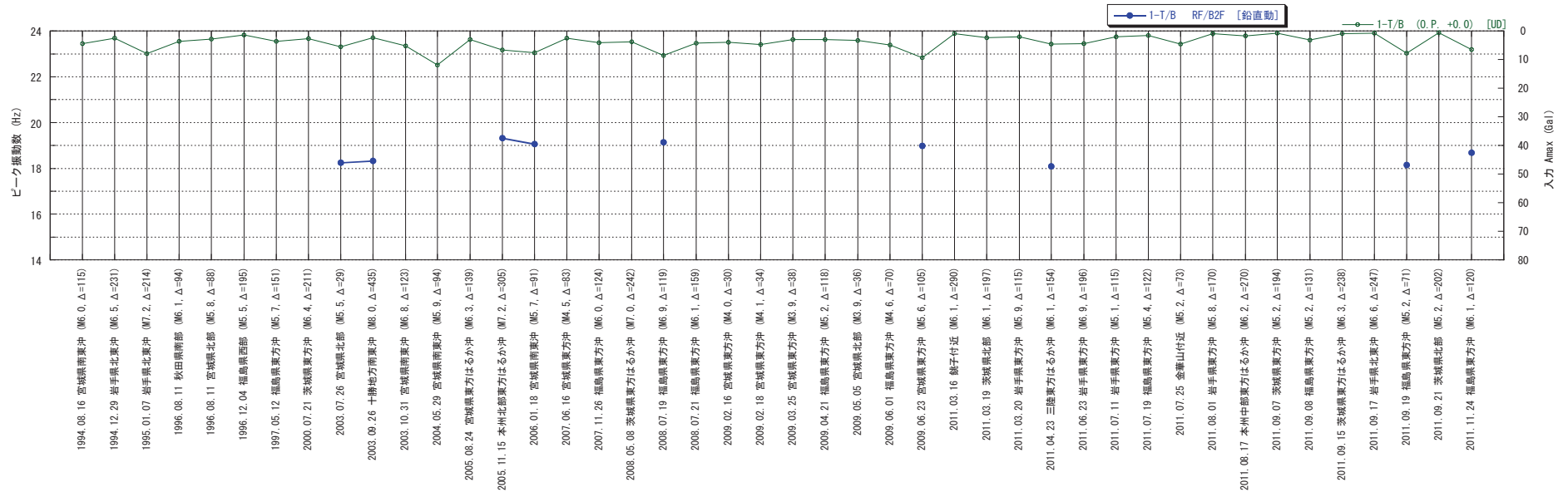
固有振動数 (設計値) : UD方向 13.41Hz

図 3-52(1) ピーク振動数の評価結果 (女川第 1 号機タービン建屋・鉛直動) (1985 年～2011 年)



固有振動数（設計値） : UD方向 13.41Hz

図 3-52(2) ピーク振動数の評価結果（女川第1号機タービン建屋・鉛直動）（2010年～2016年）



固有振動数 (設計値) : UD 方向 13.41 Hz

図 3-52(3) ピーク振動数の評価結果 (小振幅地震) (女川第 1 号機タービン建屋・鉛直動)

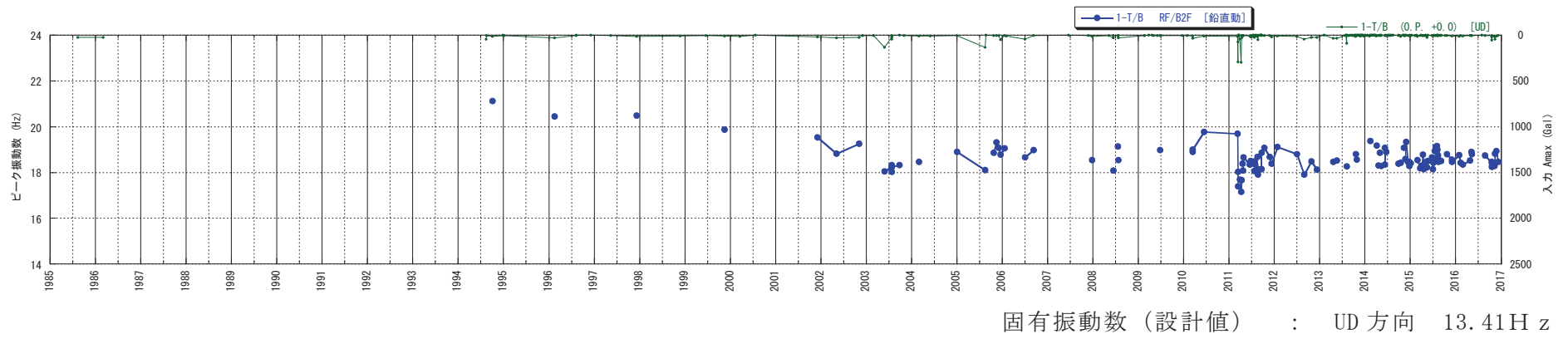


図 3-53 ピーク振動数の経年変化 (女川第 1 号機タービン建屋・鉛直動)

(4) まとめ

女川原子力発電所の地震計が設置されている建屋を対象に，1次固有振動数の経年変化の分析を行った。その結果，ほぼ地下に埋め込まれている女川第3号機海水熱交換器建屋を除く全ての建屋において，水平動の1次固有振動数が経年的に低下する傾向が確認された。

なお，固有振動数が経年的に低下する原因の一つとして，中小地震の繰り返し入力による影響が考えられる。ただし，3.11地震後には多数の余震が発生し，中小地震を数多く経験しているものの，この間の固有振動数の変化は概ね横ばいであることから，単純に中小地震を多数経験することによって建屋剛性が低下するとは考えにくい。

付録 1 解析手法の原理

1. 基礎固定時伝達関数

簡単のため、剛な基礎を有する 1 質点系の例を用いる。地震により図 2-56 の系の基礎に水平動 x_0 と回転動 θ が生じた場合の、質点 m に関する運動方程式は下記(1)式となる。なお 1 質点系の減衰定数は簡単のため無視し、0としている。

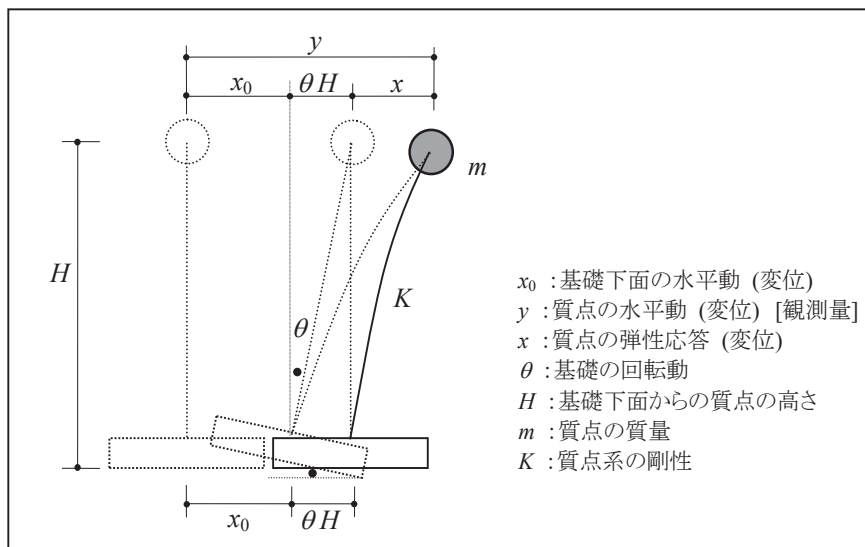


図 2-56 手法の原理

$$m(\ddot{x} + \ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H) + Kx = 0 \quad (1)$$

第 1 項の慣性力は絶対加速度 $\ddot{x} + \ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H$ により定まり、弾性変形による反力は弾性応答 x により定まる事により、上式が成立するものである。今、第 1 項の \ddot{x}_0 , $\ddot{\theta}$ を含む部分を右辺に移項すると(2)式が得られる。

$$m\ddot{x} + Kx = -m(\ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H) \quad (2)$$

上式は、図 2-56 の上部構造 (m と K から成る 1 質点系) が $(\ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H)$ なる基礎の水平動を受けた場合と全く同じ式であり、これは即ち、 $-(\ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H)$ を入力と見なせば、この 1 質点系が剛な基礎・地盤上に建ち、 $(\ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H)$ なる基礎水平動を受ける場合の応答を示す式である。したがって、下記(3)式により、応答を絶対加速度 $(\ddot{x} + \ddot{x}_0 + \ddot{\theta}H)$ とした場合の、基礎固定時の 1 質点系の振動特性が求まることとなる。

$$G(\omega) = \frac{X(\omega) + X_0(\omega) + \Theta(\omega)H}{X_0(\omega) + \Theta(\omega)H} \quad (3)$$

$G(\omega)$: 1 質点系の基礎固定時伝達関数

($X(\omega), X_0(\omega), \Theta(\omega)$ は各々、 $\ddot{x}, \ddot{x}_0, \ddot{\theta}$ のフーリエ変換による振動数領域の値)

上部構造が多質点系の場合や起振機で上部を加振する場合にも、等価高さ位置の応答を用いれば同様の議論が成り立つ¹⁾。また埋込みがある場合の埋込み効果の影響を検討した結果²⁾や実機への適用例³⁾が文献に示されている。

なお、質点の応答は、基礎の水平動に対する応答と回転動に対する応答の和であるた

め、質点の応答から基礎の水平動を引いただけでは、回転動に対する応答分が残ることになる。

等価高さ位置の応答は、必ずしも観測されているとは限らないため、通常は、隣接する上下階での応答を線形補間することによって、等価高さでの応答を算定することになる。ただし、観測記録の制約により等価高さ位置の応答が適切に評価できない場合には適用できない。

そこで、建物上部の水平動応答を有効に活用し、等価高さ位置の応答算定が困難な場合でも、基礎固定時伝達関数を評価できる定式化を用いる。⁴⁾

図 2-57 に示すように、各 k 層の高さ H_k と等価高さ \bar{H} との差 $(H_k - \bar{H})$ と基礎の回転動 θ_0 との積によって、各層での観測応答を補正することを考えれば、(4) 式が得られる。

$$\frac{\ddot{x}_0 + H_k \ddot{\theta}_0 + \ddot{x}_k - (H_k - \bar{H}) \ddot{\theta}_0}{\ddot{x}_0 + \bar{H} \ddot{\theta}_0} = \frac{\ddot{x}_0 + \bar{H} \ddot{\theta}_0 + \ddot{x}_k}{\ddot{x}_0 + \bar{H} \ddot{\theta}_0} = 1 + \frac{\ddot{x}_k}{\ddot{x}_0 + \bar{H} \ddot{\theta}_0} \quad (4)$$

この場合、図 2-57 の赤で示したような系を想定していることになる。(4) 式では相対応答 \ddot{x}_k が 0 なら伝達関数は 1 に収束する。さらに、入力 $\ddot{x}_0 + \bar{H} \ddot{\theta}_0$ を共通とする伝達関数であるため、多層で観測記録が得られていれば、基礎固定時の振動モード評価を行うことも可能である。

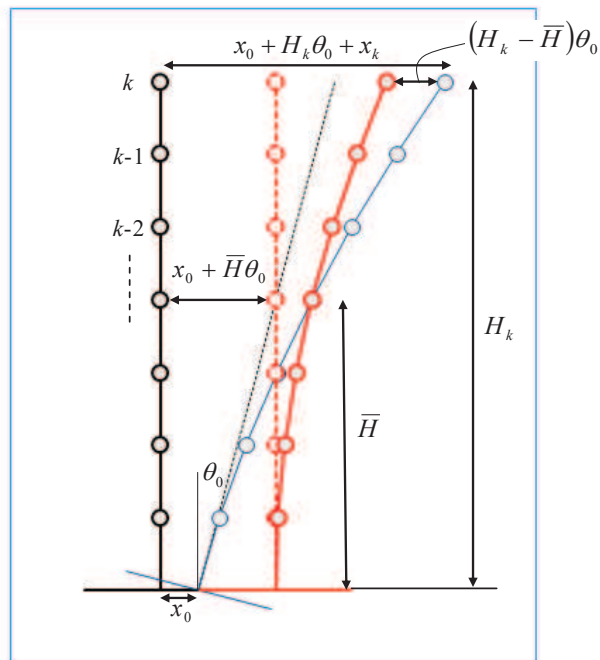


図 2-57 基礎固定時伝達関数の座標系（等価高さ基準，高さ補正を行う場合）

- 1) 斎藤知生 : モード解析型多入力多出力 ARX モデルを用いた高層建物のシステム同定, 日本建築学会構造系論文集, 第 508 号, pp. 47-54, 1998. 6
- 2) 内藤幸雄 他 : 埋込みを有する原子炉建屋の基礎固定時伝達関数推定に関する解析的検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 579 号, pp. 31-38, 2004. 5
- 3) ニウシャ アリ 他 : 実測に基づく原子炉建屋の基礎固定時伝達関数推定, 日本建築学会構造系論文集, 第 583 号, pp. 69-76, 2004. 9
- 4) 都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト・「都市機能の維持・回復に関する調査研究」平成 24 年度 成果報告書

http://www.toshikino.dpri.kyoto-u.ac.jp/report/2012/pdf/3.3.2_p.259-272.pdf

2. スウェイ固定時伝達関数

スウェイ固定時伝達関数とは、従来行われてきた、基礎の水平動を入力として伝達関数を求めるものであり、水平には剛でロッキングのみ許す地盤上の建屋が地震動を受けた場合の伝達関数に相当するものである。

これは、図 2-58 に示す物理モデルを想定していることになる。建屋の振動特性とともに地盤のロッキングばねの特性が伝達関数に現れるため、1 自由度系による 1 次振動数、減衰定数が評価し難い面もあるが、女川サイトのように支持地盤が硬質岩盤である場合は、建屋のロッキング応答の成分が相対的に小さいため、比較的良好な評価結果が得られる。

検討対象建屋のうち、女川第 1 号機原子炉建屋、女川第 2 号機原子炉建屋及び女川第 3 号機原子炉建屋については、基礎版端部の鉛直動が計測されているため、基礎固定時伝達関数の評価が可能である。これらについては、基礎固定時とスウェイ固定時の両者の伝達関数の比較を行い、傾向を分析する。

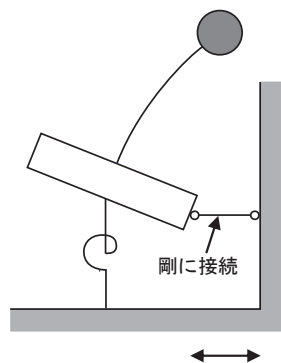


図 2-58 スウェイ固定時伝達関数に対応する物理モデル

3. 周波数分析の方法

(1) ARX による方法 (各地震記録の継続時間中の振動特性変化の評価等)

以下に ARX (autoregressive auxiliary input) 手法について示す。

システム同定の主な分類としては、ノンパラメトリック同定法とパラメトリック同定法がある。ノンパラメトリック同定法に分類されるものは相関解析法、過渡応答法、周波数応答法、スペクトル解析法といった手法で、パラメトリック同定法に分類されるものは最小二乗法、補助変数法、予測誤差法といった手法である。

ARX モデルは、パラメトリック同定で一般的によく使用される最も簡単なパラメトリックモデルであり、最小二乗法により計算される方法である。ARX モデルは以下の式で定義される。

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) \\ = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $y(t)$ は時刻 t の出力、 $u(t)$ は時刻 t の入力、 $e(t)$ は残差項、 n_a, n_b は多項式の次数である。ここで、 q^{-1} という時間遅れ演算子を (6) のように定義すると、(5) は (7) のようにされる。

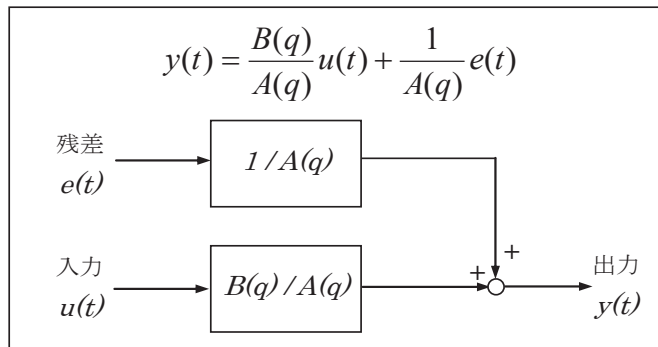
$$\begin{aligned} qy(t) = y(t+1), \quad q^{-1}y(t) = y(t-1), \dots, \quad q^{-n_a}y(t) = y(t-n_a) \\ qu(t) = u(t+1), \quad q^{-1}u(t) = u(t-1), \dots, \quad q^{-n_b}u(t) = u(t-n_b) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a})y(t) \\ = (b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b})u(t) + e(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \\ A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \end{aligned} \quad (7)$$

$$B(q) = b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b}$$

これらより、ARX モデルのブロック線図は下図のように表され、 $B(q)/A(q)$ は離散時間の伝達関数に対応することになる。



ARX モデルは、線形最小二乗法を用いてパラメータ $a_1 \sim a_{n_a}, b_1 \sim b_{n_b}$ を推定することが可能である。(7)式より、

$$\begin{aligned}
y(t) &= -\sum_{j=1}^{n_a} a_j y(t-j) + \sum_{j=1}^{n_b} b_j u(t-j) + e(t) \\
&= [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)] [a_1, \dots, a_{n_a}, b_1, \dots, b_{n_b}]^T + e(t) \quad (8) \\
&= \varphi(t)\theta + e(t)
\end{aligned}$$

時刻 $t=1 \sim N$ を考えれば,

$$Y = \Phi\theta + E$$

$$\begin{aligned}
Y &= [y(1), \dots, y(N)]^T \\
\Phi &= \begin{bmatrix} \varphi(1) \\ \mathbf{M} \\ \varphi(N) \end{bmatrix} = [\varphi(1)^T, \dots, \varphi(N)^T]^T \quad (9)
\end{aligned}$$

$$E = [e(1), \dots, e(N)]^T$$

となり，最小二乗推定値は，下式により求められる。

$$\hat{\theta} = [\Phi^T \Phi]^{-1} \Phi^T Y \quad (10)$$

尚，伝達関数 $H(Z) = B(Z)/A(Z)$ は，フーリエ変換と Z 変換との関係より，下式のように周波数伝達関数に変換される。

$$H_f(f) = H(\exp(i \cdot \Delta t \omega)) \quad (11)$$

また，ピーク振動数 f_j と減衰定数 h_j は， $A(Z)=0$ の根 $z p_j$ を用いて，下式により求められる。

$$f_j = \frac{|\log_z p_j|}{2\pi \Delta t}, \quad h_j = \frac{-\log_z |p_j|}{2\pi f_j \Delta t} \quad (12)$$

なお，次数 n_a ， n_b の値については，代表的な観測記録を対象に，スペクトル解析による観測記録の伝達関数との比較から，予め次数を固定することも考えられる。しかしながら，3.11地震の前後では振動特性の変化が著しく，特に3.11地震以降では，伝達関数の形状が複雑となり，適切に評価することが困難なケースも生じてきた。このため，本検討では，各観測記録について，スペクトル解析とARXによる両者の伝達関数の対応を確認の上，次数を決めることとした。具体的には，ピーク振動数が高振動数である原子炉建屋以外の鉛直動では100Hzサンプリング，その他については50Hzサンプリングとし， n_a ， n_b ともに20～100次の範囲を対象に，ARXにより求められる伝達関数が，スペクトル解析による伝達関数と対応し安定した性状となる値を地震ごとに採用した。

付録 2 2021 年 2 月 13 日福島県沖の地震について

1. 地震の概要

(1) 発生日時：2021年2月13日23時07分

(2) 震央地名：福島県沖

(3) 地震諸元（気象庁暫定値）

規模：マグニチュード7.3

震央位置：東経141度41.9分 北緯37度43.7分

震源深さ：55 km

(4) 女川原子力発電所との距離（暫定値）

震央距離：77 km

震源距離：94 km

(5) 各地の震度

震度6強：《宮城県》蔵王町 《福島県》相馬市 国見町 新地町

震度6弱：《宮城県》石巻市，他 《福島県》南相馬市，他

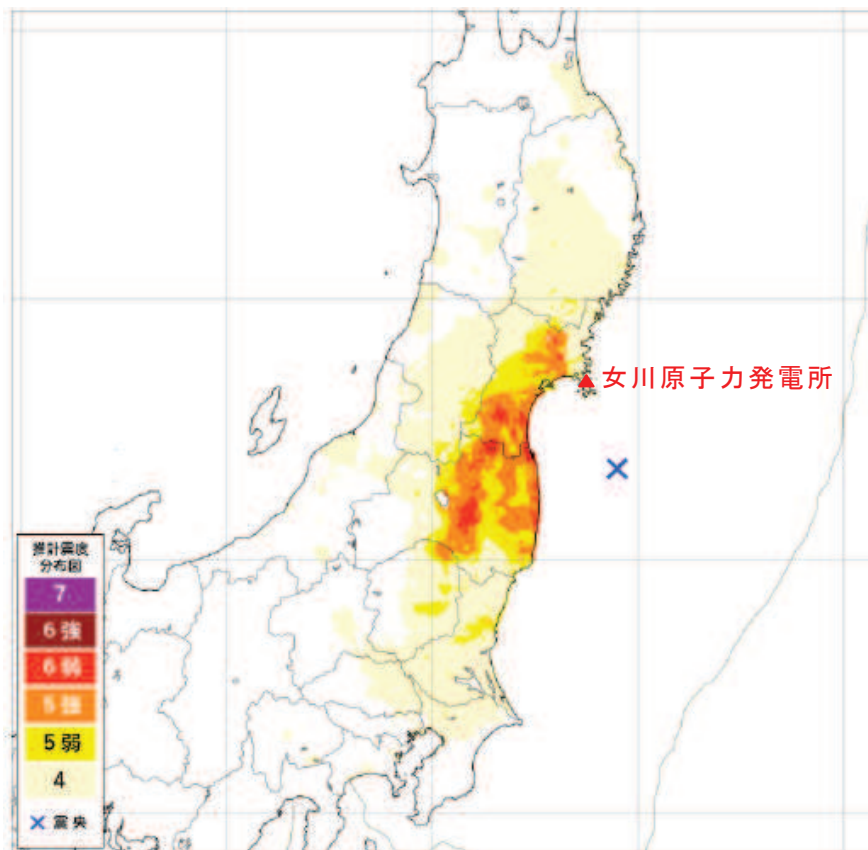


図1-1 震央位置

（気象庁 報道発表資料：「令和3年2月13日23時08分頃の福島県沖の地震について－「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第89報）－」 推計震度分布）に加筆

2. 応答スペクトルの比較

自由地盤観測点で観測された地震動のはぎとり波と基準地震動 $S_s - D2$ 及び弾性設計用地震動 $S_d - D2$ との比較を図 2-1 に示す。

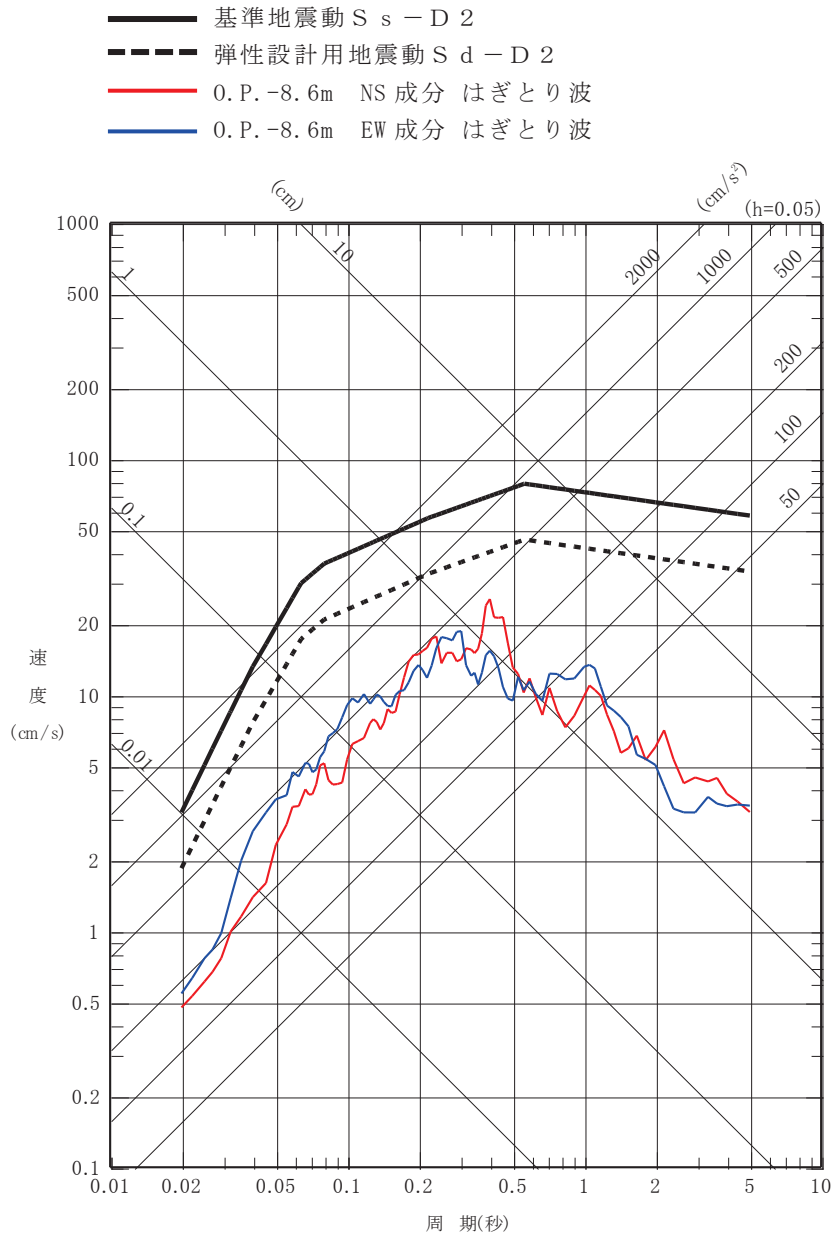


図 2-1(1) 応答スペクトルの比較 (水平方向)

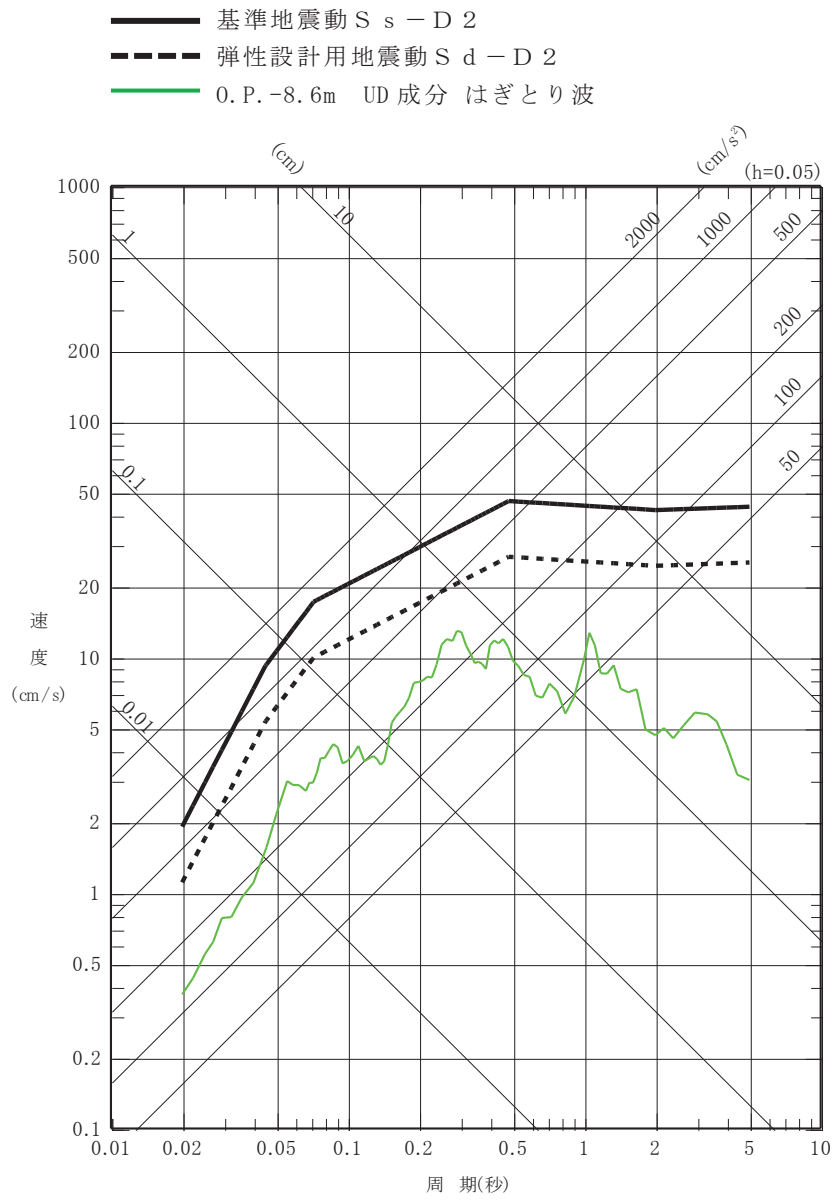


図 2-1(2) 応答スペクトルの比較 (鉛直方向)

別紙 3 東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価
(点検結果)

目 次

1. はじめに.....	別紙 3- 1
2. 建屋に関する地震後設備健全性の確認方法.....	別紙 3- 2
2.1 地震後健全性確認の基本的な考え方.....	別紙 3- 2
2.2 点検方法策定にあたっての基本的な考え方.....	別紙 3- 2
2.3 鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法及び判定基準.....	別紙 3- 3
2.4 屋根トラスに関する点検方法及び判定基準.....	別紙 3- 5
2.5 第三者機関による確認.....	別紙 3- 6
3. 原子炉建屋耐震壁のひび割れ分布の点検結果.....	別紙 3- 7
3.1 ひび割れ分布の記録.....	別紙 3- 7
3.2 鉄筋コンクリート躯体（耐震壁）の集計表.....	別紙 3- 7
4. 原子炉建屋屋根トラスの点検結果.....	別紙 3- 9
4.1 屋根トラスの集計表.....	別紙 3- 9
5. 地震後の補修.....	別紙 3-10
5.1 地震後のひび割れ補修.....	別紙 3-10
5.2 地震後の屋根トラス補修.....	別紙 3-10
6. まとめ.....	別紙 3-11
6.1 地震後の点検結果（原子炉建屋）のまとめ.....	別紙 3-11

別紙 3-1 原子炉建屋のひび割れ分布

別紙 3-2 原子炉建屋屋根トラスの点検結果

1. はじめに

3.11地震及び4.7地震により、女川原子力発電所では一部周期帯において基準地震動 $S_s - D$ を上回る地震動を観測したことから、女川原子力発電所の設備健全性に及ぼした影響を評価することを目的に「女川原子力発電所2号機 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書(建物・構築物編)」(以下「点検・評価計画書(建物・構築物編)」という。)に基づき点検・評価作業を実施している。

原子炉建屋についてその結果をとりまとめた。

2. 建屋に関する地震後設備健全性の確認方法

2.1 地震後健全性確認の基本的な考え方

点検・評価とは、建物・構築物における点検、地震応答解析による評価及び両者の結果を踏まえた健全性の総合評価をいう。

点検は、各建物・構築物に共通的に実施する目視点検により行う。地震応答解析では、本地震の観測記録に基づく各建物・構築物の解析的な評価を実施する。

点検・評価に関しては、以下の基本的な考え方に従った。（図2-1参照）

- ① 耐震安全上重要な建物・構築物については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の総合評価を行う。
- ② 目視点検で異常が確認された場合は、必要に応じ追加点検を行い、必要に応じて補修を実施することも検討する。
- ③ 地震応答解析結果において裕度が比較的小さい場合は、詳細検討を行う。

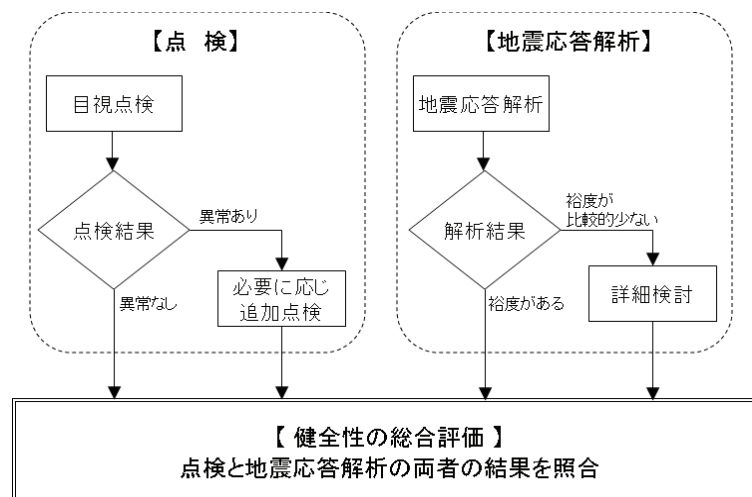


図2-1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

2.2 点検方法策定にあたっての基本的な考え方

点検の実施にあたっては、以下を考慮する。

- ① 対象とする建物・構築物の構造形式ごとに地震時に想定される影響を把握し、点検手法に反映させる。
- ② 目視点検によって健全性が十分確認できない場合は、適宜非破壊試験等の実施を検討する。
- ③ 作業員被ばく低減、人身安全等の観点から点検が困難な場合については、構造的に類似した部位の点検結果及び解析結果を踏まえた上で必要に応じて合理的な評価方法を策定する。

2.3 鉄筋コンクリート躯体に関する点検方法及び判定基準

鉄筋コンクリート構造物への地震の影響については、ひび割れ及び剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検^{*1}を主体とした点検を実施した。

また、「基本的な考え方」に従い、人身安全等の観点から歩行できる箇所からの目視点検を実施し、作業員被曝低減の観点から高線量エリアの点検は行わないこととした。

一方、建屋内部のオペフロ上部については、建設時の仮設材が壁面を覆いコンクリート躯体の確認が行えないことから、外壁に足場を設け、外壁塗膜を除去した上で点検を実施した。追加点検の判断の目安を表 2-1 に、点検の流れを図 2-2 に示す。

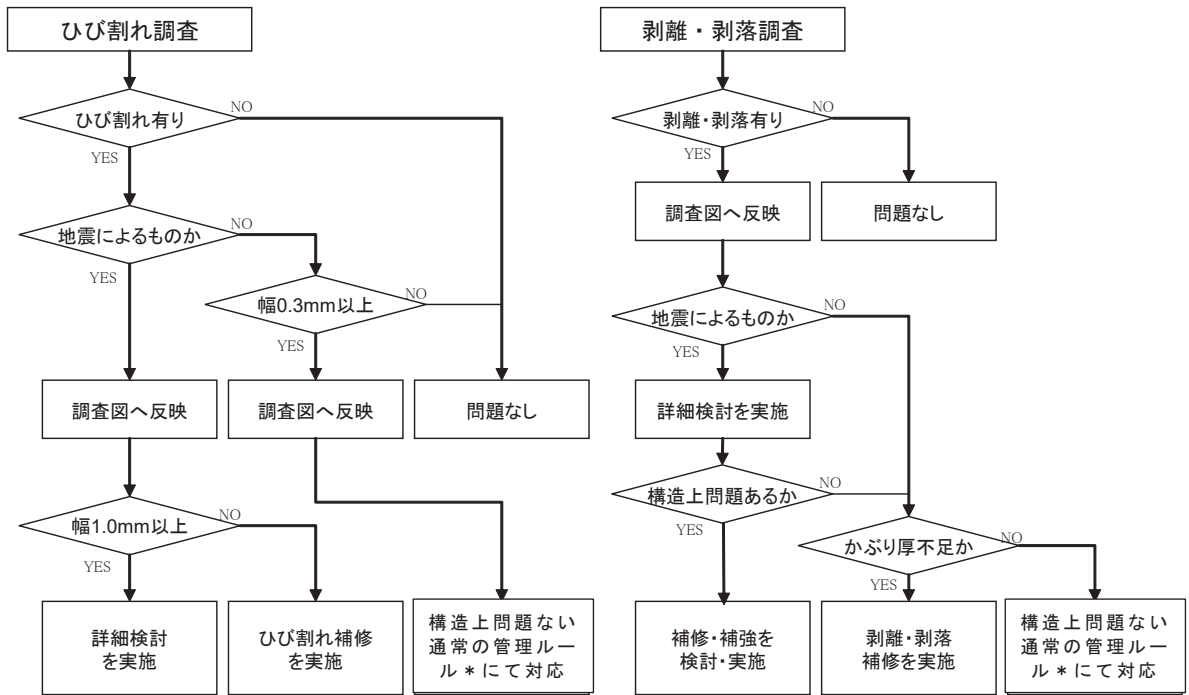
注記*：耐震壁のひび割れは、地震時のせん断力により生じるひび割れを想定しており、主に斜め 45 度方向に発生すると考えられ、断面方向には若干方向を変えながら進展し、裏面側のほぼ同じ場所にもひび割れを生じると考えられる。また、せん断力により生じるひび割れは、耐震壁全体にほぼ一様にせん断力が加わることから、壁の上部と下部に同様に生じると考えられる。したがって、点検の際には基本的に片側から壁の下部を中心に点検を実施する。

表 2-1 点検・評価計画書（建物・構築物編）の「判定基準例一覧」（1）

点検対象	判定基準
生体遮蔽装置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 遮蔽性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造上問題となるひび割れがないこと （幅 1.0mm 以上のひび割れがないこと*2） ・ 構造上問題となる剥離・剥落がないこと

注記*：EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake における以下の記載等を参考に設定。

- ①幅 0.06 インチ（約 1.5mm）を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。（0.06 インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している）
- ②コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。



注記*：社内マニュアル

図 2-2 地震による影響評価の流れ

2.4 屋根トラスに関する点検方法及び判定基準

鉄骨躯体への地震による影響については、部材の変形・座屈・破断，溶接接合部のきれつ・破断，ボルト接合部のボルト破断・緩みが想定され，外観の確認が有効であると考えられるため，目視点検を主体とする点検を実施した。

塗装に剥がれや切れがあるボルトについては，トルクレンチを用いて締め付けを行い，緩みの有無を確認した。

目視で変形が確認された部材については，変位量の測定等の詳細調査を実施した。追加点検の判断の目安を表 2-2 に，点検の流れを図 2-3 に示す。

表 2-2 点検・評価計画書（建物・構築物編）の「判定基準例一覧」（2）

点検対象	判定基準
原炉格納施設	・ 構造上問題となる変状（変形・座屈等）がないこと*

注記*：地震被害に関する調査であるが，鉄骨製作時の寸法精度の許容差を定めた「建築工事標準仕様書 J A S S 6 鉄骨工事 付則 6」（日本建築学会）を準用した。

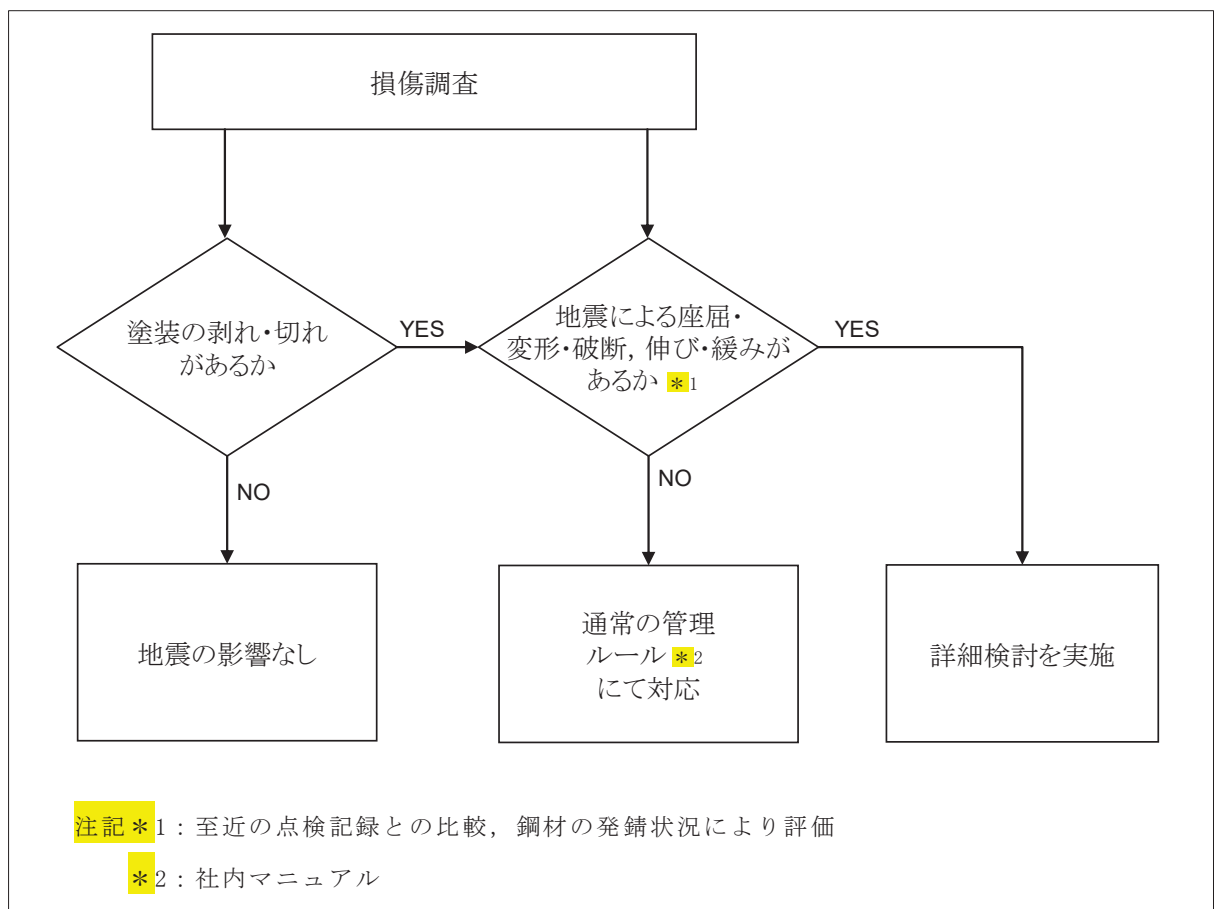


図 2-3 屋根トラスの点検の流れ

2.5 第三者機関による確認

「点検・評価計画書（建物・構築物編）」に従い，点検の計画及び点検結果の妥当性について，第三者機関の確認を受けている。

体制を図2-4に示す。

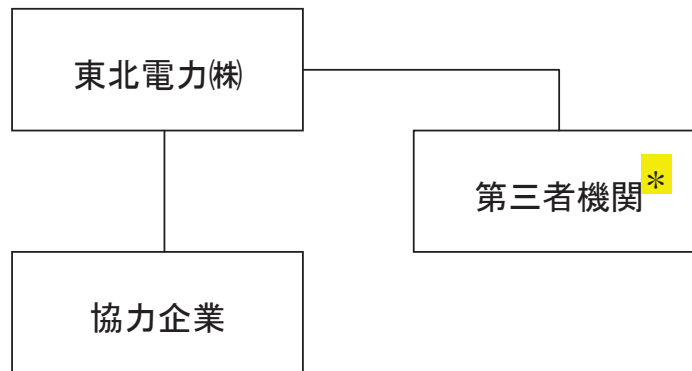


図2-4 点検・評価の体制

注記*：建物の点検に関わる第三者機関は，「一般社団法人 建築研究振興協会」（国土交通省所管）

3. 原子炉建屋耐震壁のひび割れ分布の点検結果

3.1 ひび割れ分布の記録

表3-1のとおり、地震によるひび割れは、幅に関わらず全て展開に記録し、幅0.3mm以上の地震によらないひび割れについても展開図に記録した。

なお、幅0.3mm未満の乾燥収縮ひび割れ等の地震によらない微細なひび割れも見られるものの、本点検では対象としていない。

ひび割れ調査結果を別紙3-1に示す。

表3-1 記録の対象（展開）

ひび割れの種類	ひび割れ幅	
	$W < 0.3\text{mm}$	$0.3\text{mm} \leq W$
地震によるひび割れ (地震が原因ではないと明確に判断できないひび割れを含む)	記録する	記録する
地震によらないひび割れ	調査は行うが記録しない	記録する

3.2 鉄筋コンクリート躯体（耐震壁）の集計表

調査の結果確認されたひび割れの分布を把握するため、ひび割れ箇所数を表3-2に示す。追加調査の目安となる地震により生じた幅1.0mm以上のひび割れは確認されなかった。

また、ひび割れの発生例を図3-1に示す。

表3-2 当該地震により発生したことが否定できないひび割れ及び剥離・剥落（耐震壁）

部位	ひび割れ箇所数（延べ長さ [m]） ^{*1}			基準値	剥離・剥落 ^{*2}
	$W < 0.3$	$0.3 \leq W < 1.0$	$1.0 \leq W$		
3階 (O.P. 33.2m)	699 (852.9)	35 (68.6)	0 (0.0)	1.0mm	0
2階 (O.P. 22.5m)	139 (127.5)	15 (18.8)	0 (0.0)		7 (0.03)
1階 (O.P. 15.0m)	37 (41.7)	7 (6.6)	0 (0.0)		0
地下1階 (O.P. 6.0m)	82 (72.7)	12 (17.8)	0 (0.0)		0
地下2階 (O.P. -0.8m)	76 (64.7)	7 (9.1)	0 (0.0)		0
地下3階 (O.P. -8.1m)	13 (12.6)	8 (5.8)	0 (0.0)		0

注記*1：ひび割れ凡例 W：ひび割れ幅(mm)

*2：剥離・剥落の凡例 箇所数（延べ面積（m²））

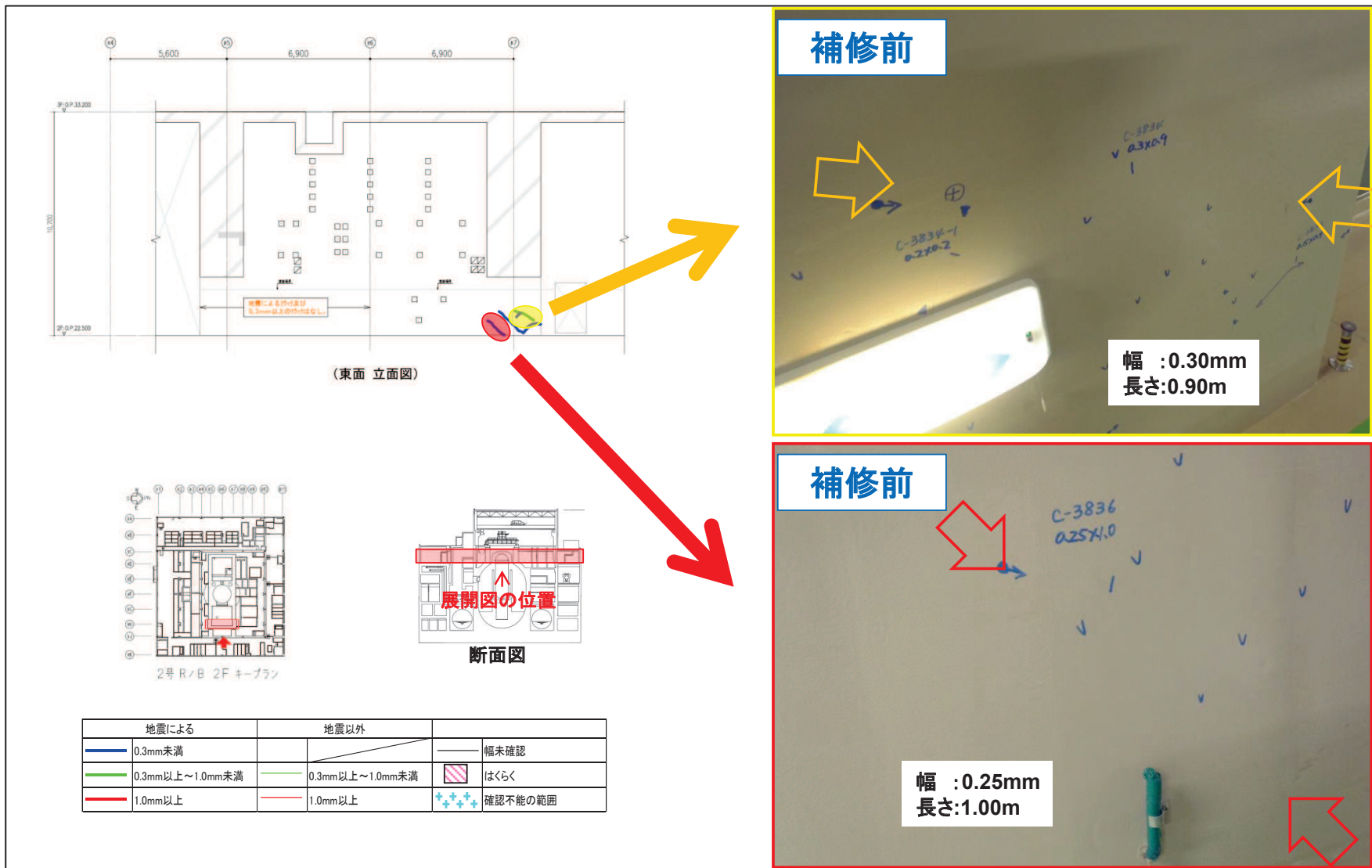


図 3-1 鉄筋コンクリート躯体のひび割れの例 (原子炉建屋地上 2 階)

4. 原子炉建屋屋根トラスの点検結果

4.1 屋根トラスの集計表

点検結果を表 4-1 及び表 4-2 に、点検結果の例を別紙 3-2 に示す。

地震力を負担する主トラスに被害は無かった。

地震力を負担しないサブトラスでは、J A S S 6 の許容値*¹未満の変形及び高力ボルトの緩みを確認した。(トルク値の確認時に増し締めを行った。)

表 4-1 原子炉建屋屋根トラスの点検結果 (構造部材)

	母材	高力ボルト		溶接部	接合部
	(J A S S 6 の許容値* ¹ 以上)	(破断)	(所定のトルク* ² が無い)	(変形又は破断がある)	(ガセットプレートの変形)
主トラス (地震力を負担)	0ヶ所	0本	0本	0ヶ所	0ヶ所
サブトラス (長期荷重用)	0ヶ所* ³	0本	32本	0ヶ所	0ヶ所

表 4-2 原子炉建屋屋根トラスの点検結果 (仮設部材)

	母材	高力ボルト		溶接部	接合部
	(J A S S 6 の許容値* ¹ 以上)	(破断)	(所定のトルク* ² が無い)	(変形又は破断がある)	(ガセットプレートの変形)
上弦水平ブレース (仮設)	0ヶ所	0本	0本	0ヶ所	0ヶ所
下弦水平ブレース (仮設)	17ヶ所	0本	1本	0ヶ所	0ヶ所

注記*¹: J A S S 6 の梁の曲がりの管理許容値から 10mm を判断の目安とした。

*²: 高力ボルトのトルクは、「J S S II 09」(日本鋼構造協会) の下限値とした。

*³: 目安とした 10mm 未満の変形を 1 箇所確認している。

5. 地震後の補修

5.1 地震後のひび割れ補修

地震による壁のひび割れについては、鉄筋コンクリートの耐久性維持の観点から、ひび割れ幅及び塗装の有無に応じて適切な補修方法を選択し実施する。

また、床等に発生している地震以外によって発生しているひび割れについては、鉄筋コンクリートの耐久性維持の観点から、従来通りひび割れ幅に応じて社内ルールに基づく補修を実施する。

補修工法の例を図5-1に示す。

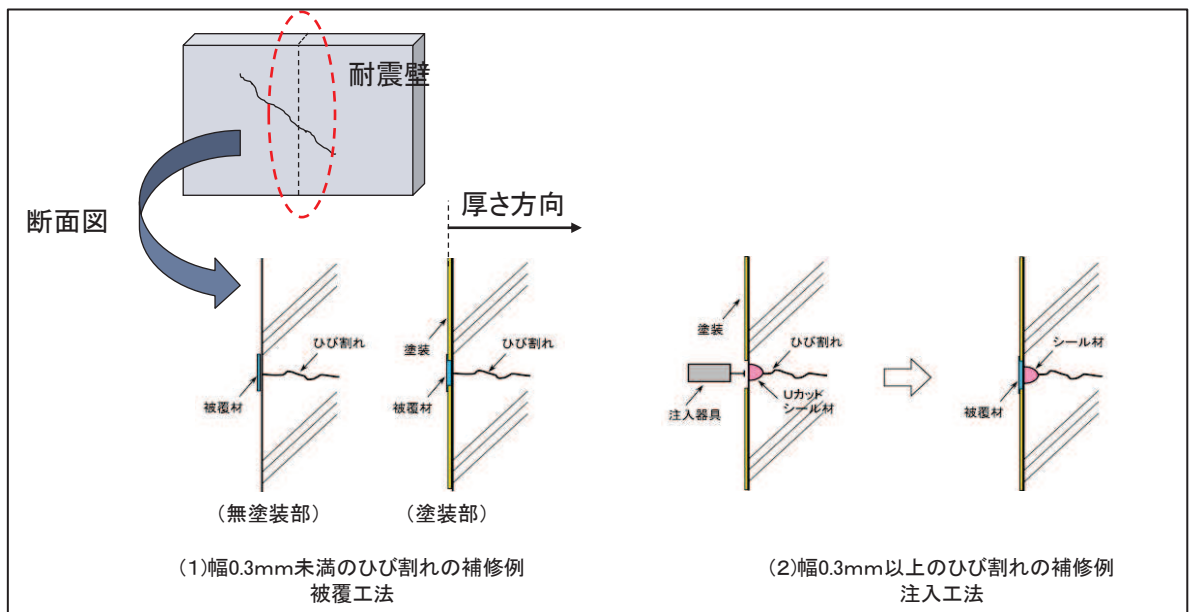


図5-1 補修工法例

5.2 地震後の屋根トラス補修

サブトラスの変形した斜材及び地震により緩んだ高力ボルトについては交換を行う。

6. まとめ

6.1 地震後の点検結果（原子炉建屋）のまとめ

(1) 耐震壁

3.11 地震及び 4.7 地震後の点検の結果，原子炉建屋の耐震壁には，地震により生じた幅 1.0mm を超えるひび割れは確認されなかった。

地震後の点検で確認されたひび割れについては，継続的に補修を実施する。

(2) 屋根トラス

地震力を負担する主トラスには被害は無かった。

地震力を負担しないサブトラスの斜材の変形及び高力ボルトに地震による緩みを確認した。

保守管理の観点から，念のためサブトラスの斜材及び緩んだ高力ボルトの交換を実施する。

(3) まとめ

点検の結果から，地震による原子炉建屋の設備健全性に大きな影響を与える損傷は確認されなかった。

別紙 3-1 原子炉建屋のひび割れ分布

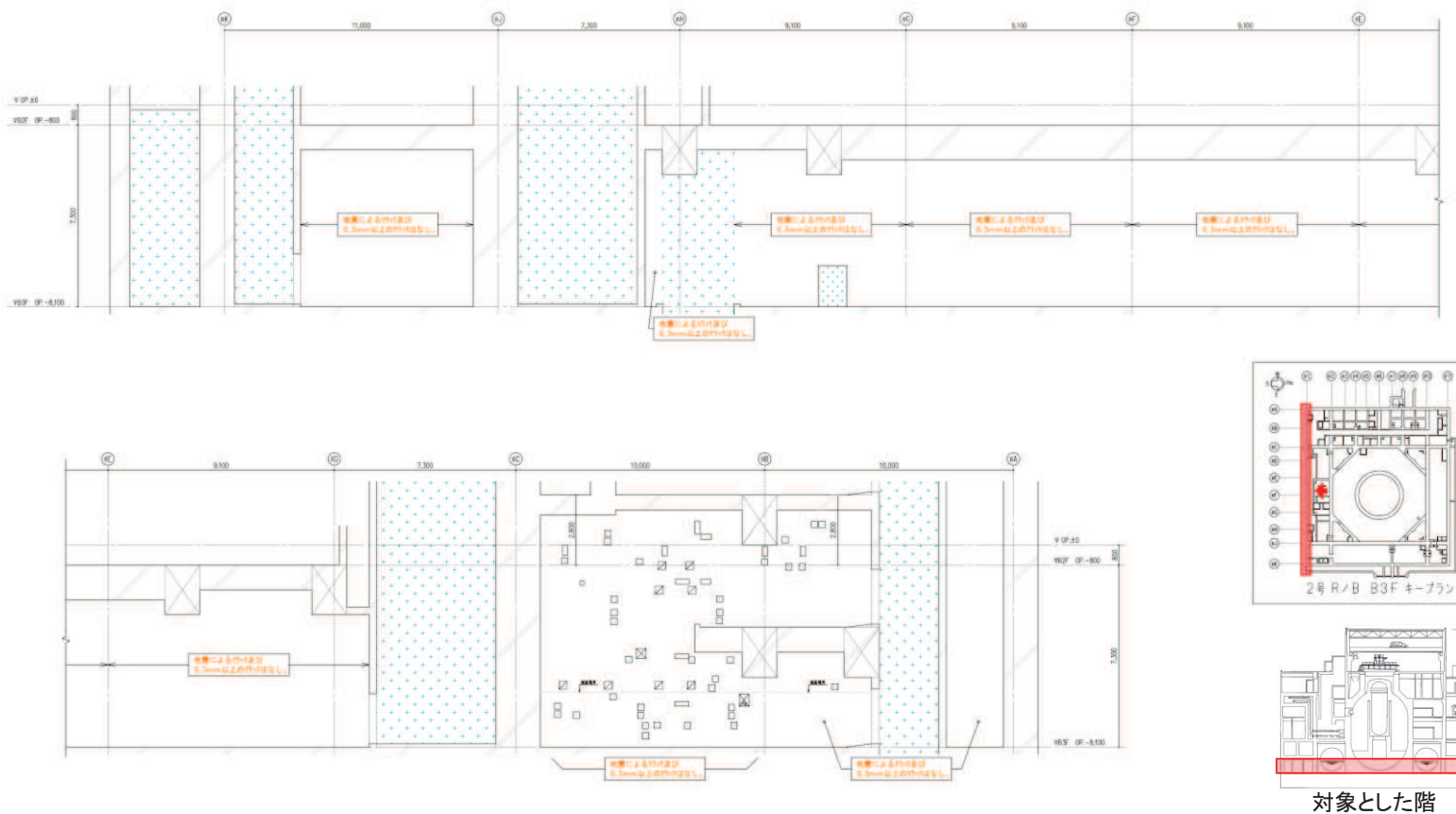
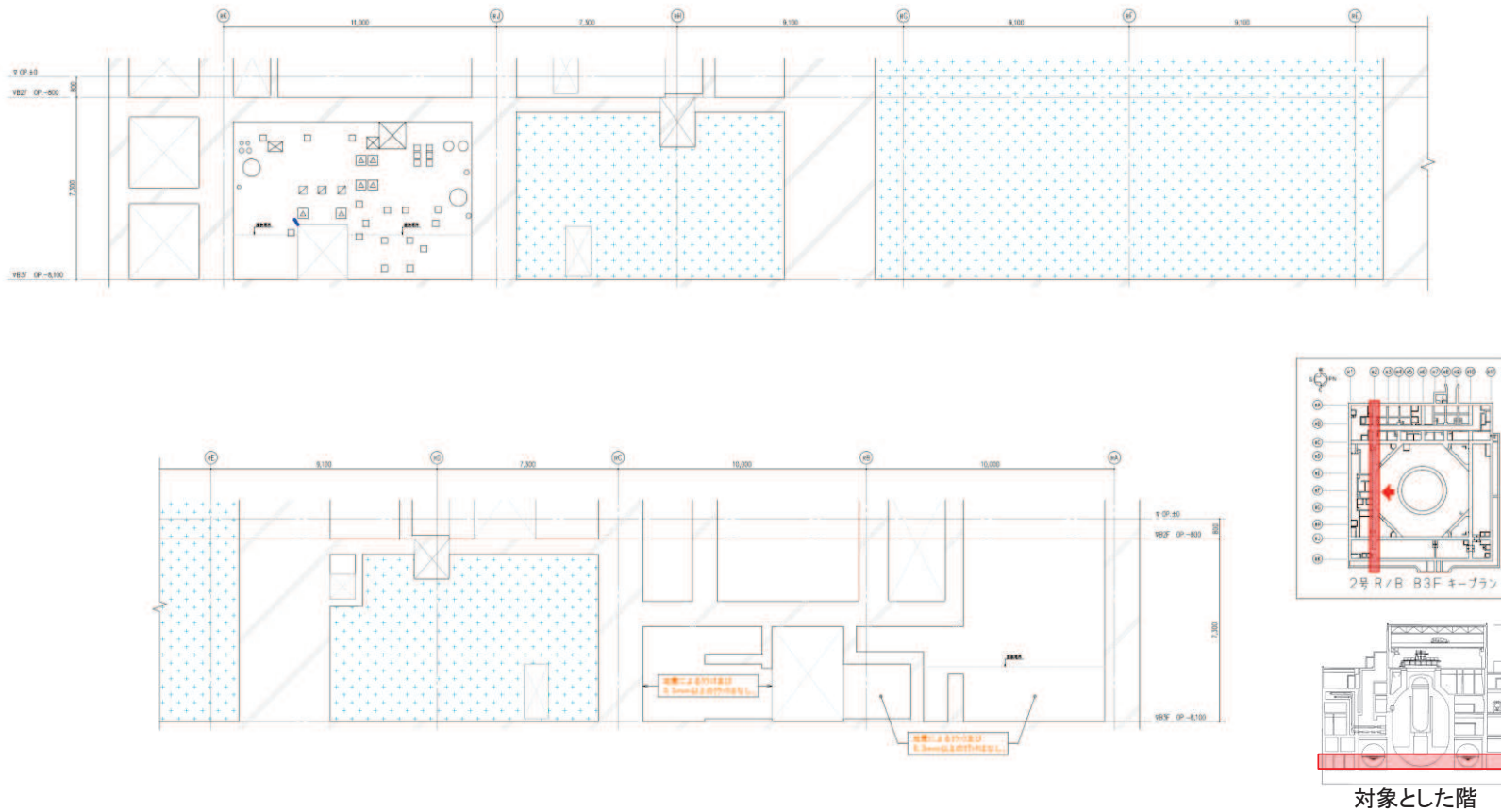
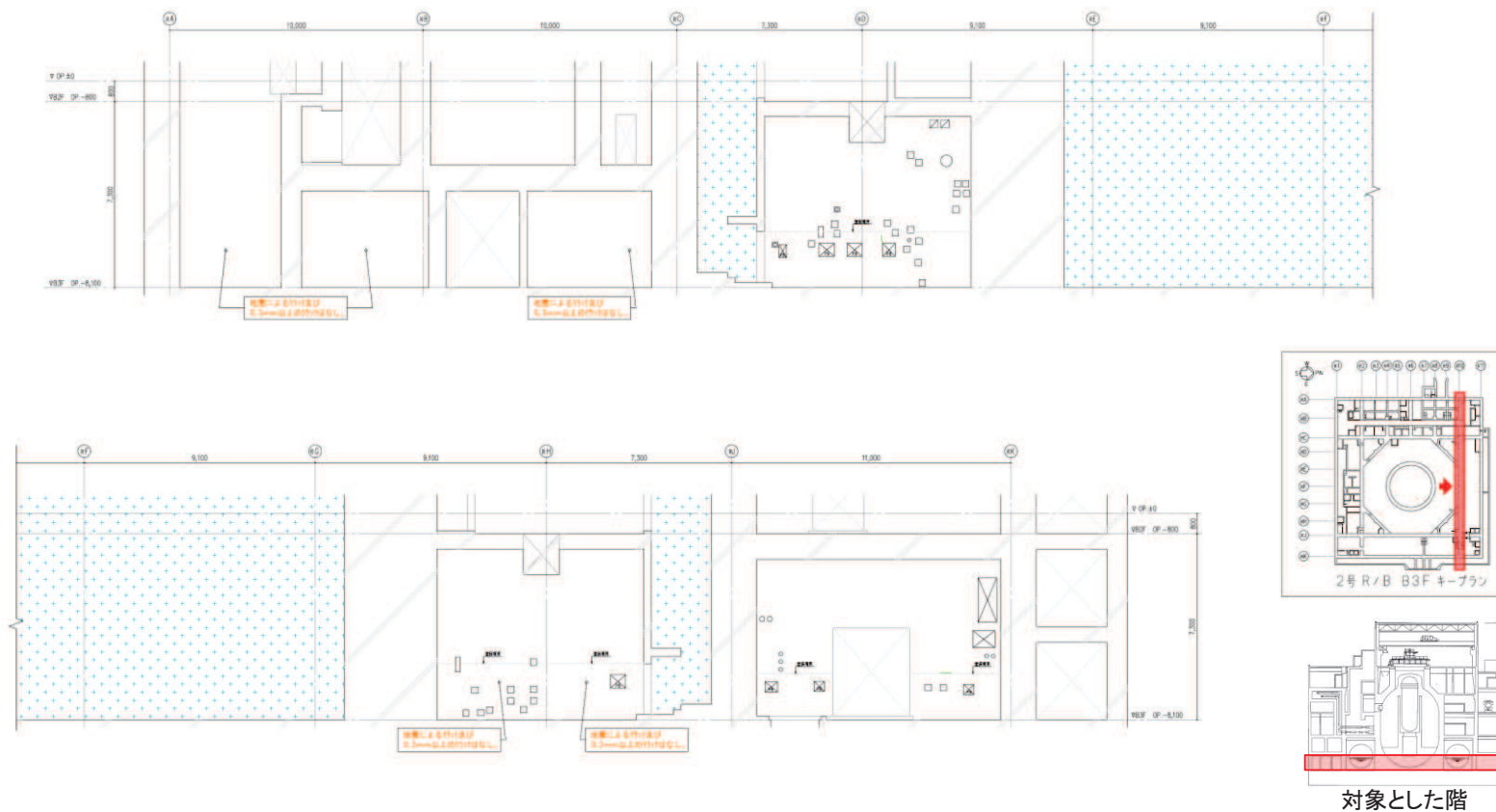


図1 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁(1) 地下3階 R1 通り



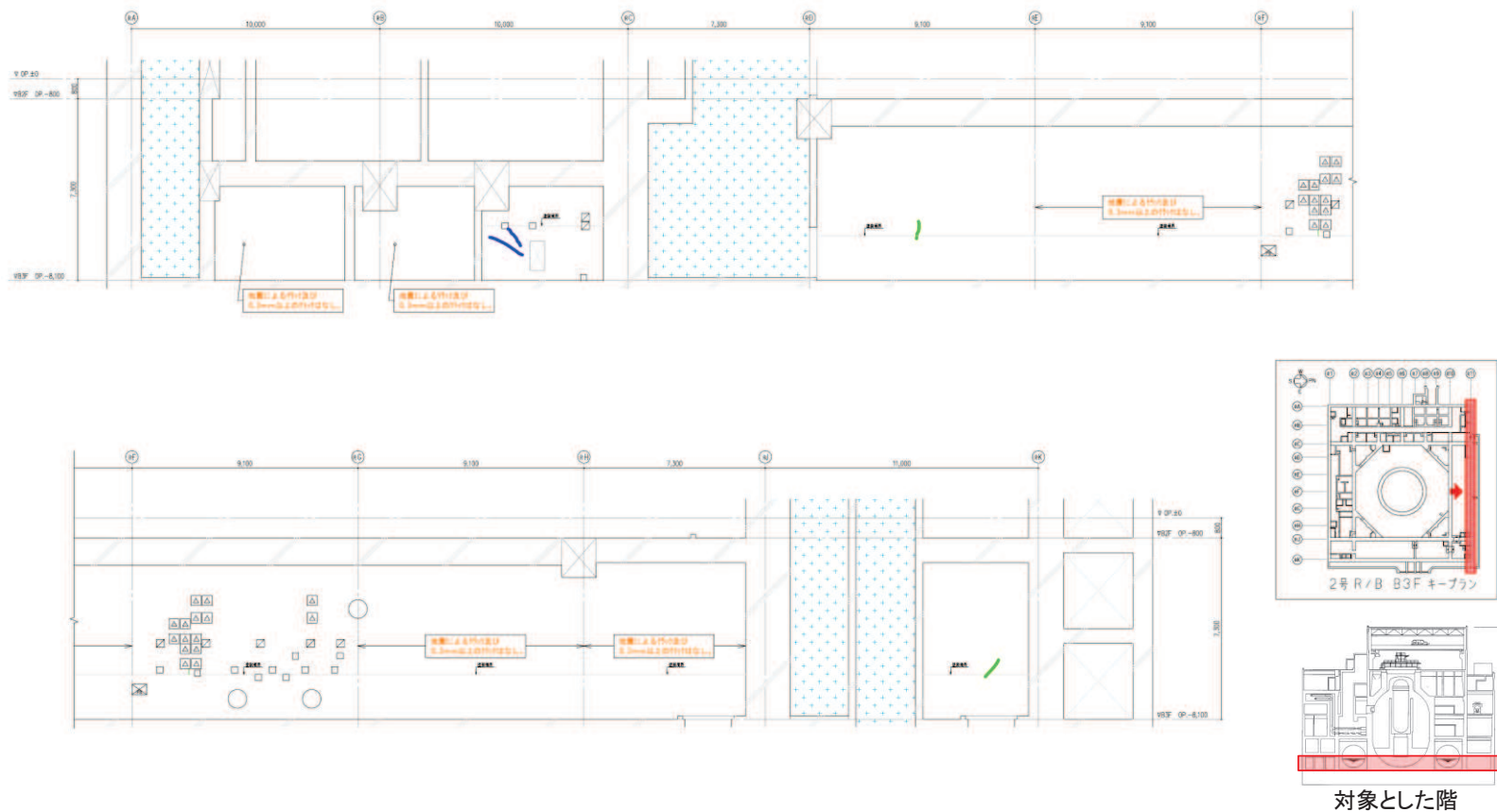
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図2 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (2) 地下3階 R2 通り



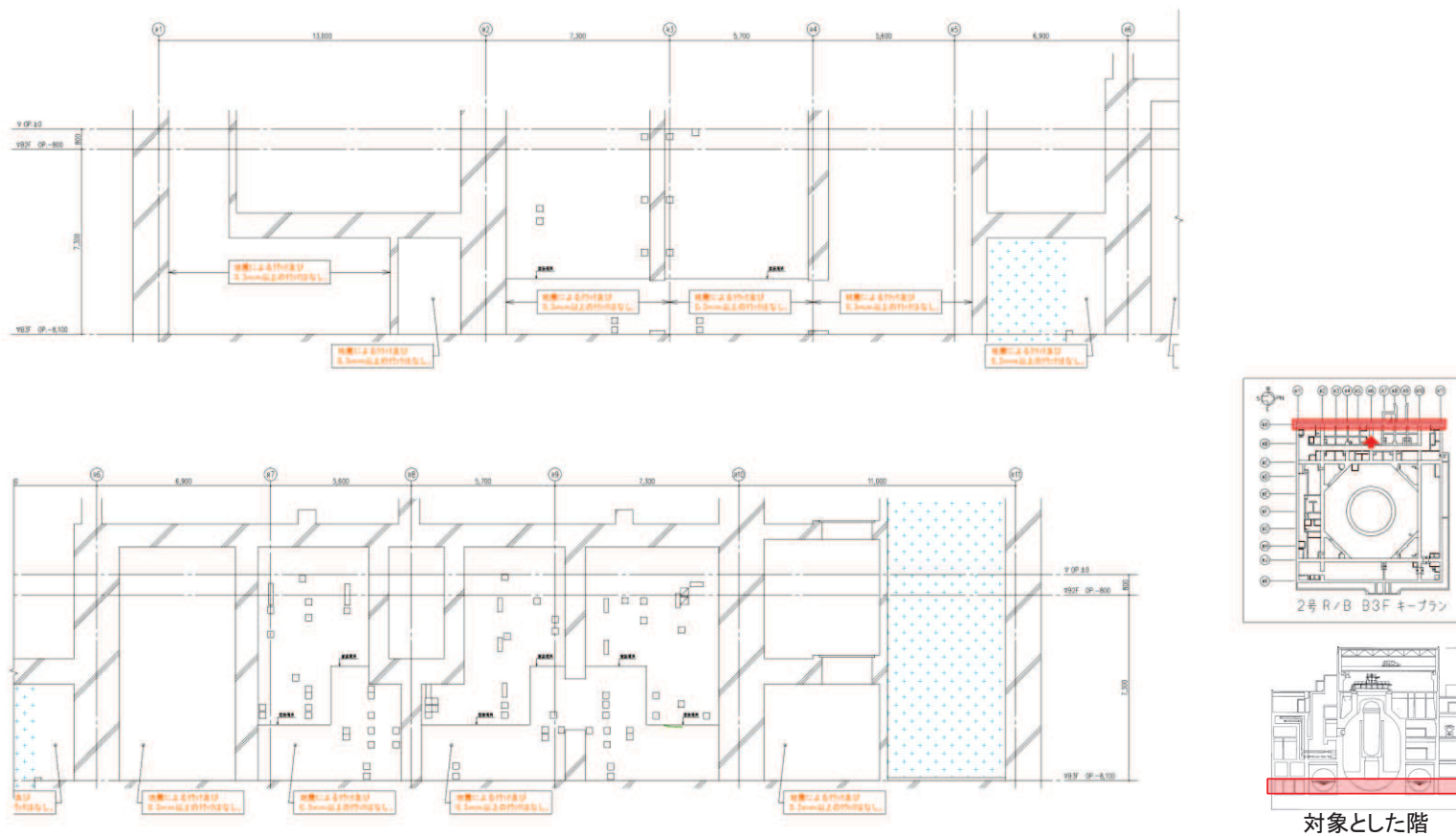
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図3 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (3) 地下3階 R10 通り



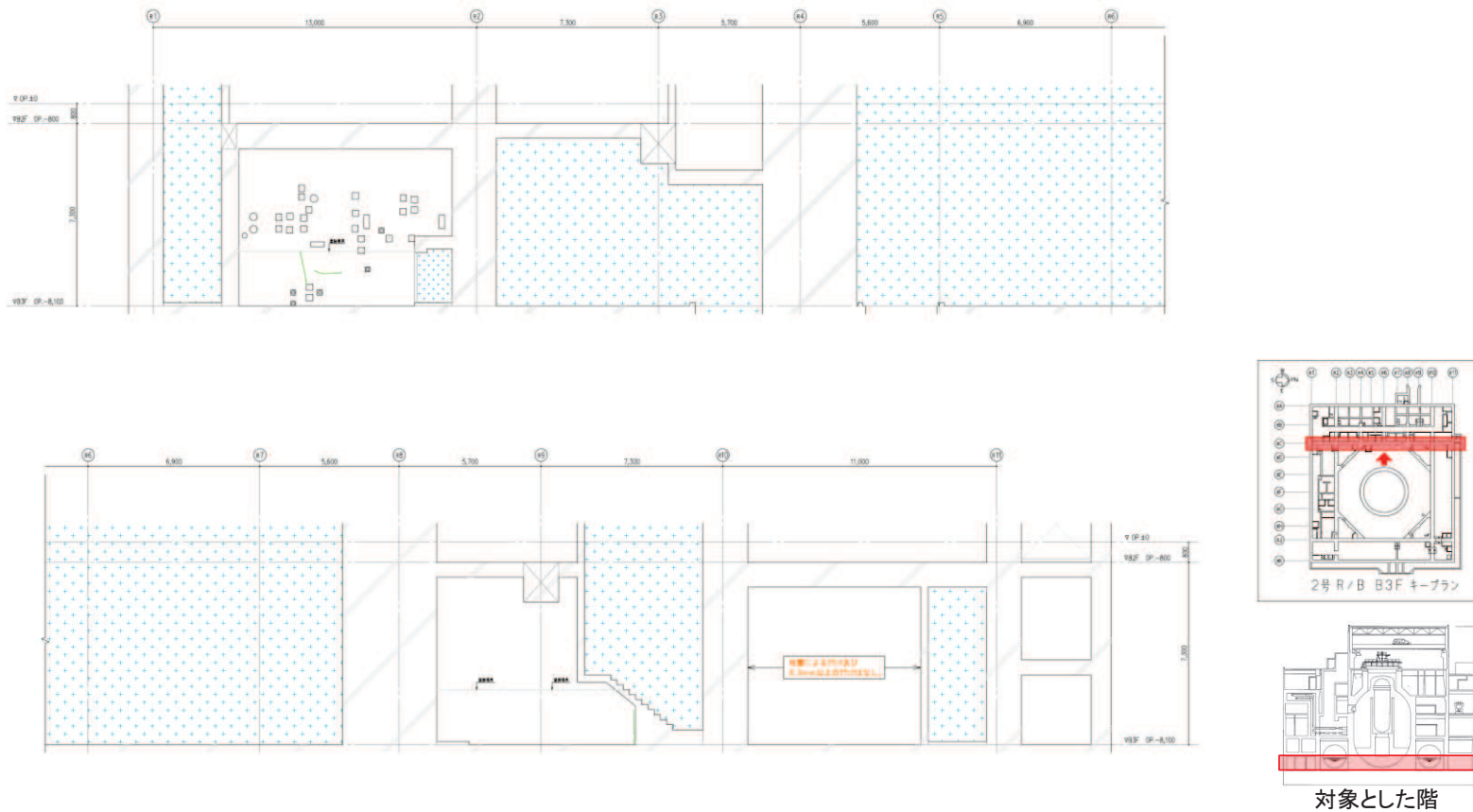
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図4 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁(4) 地下3階 R11 通り



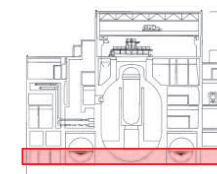
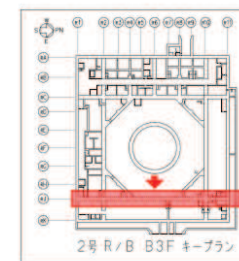
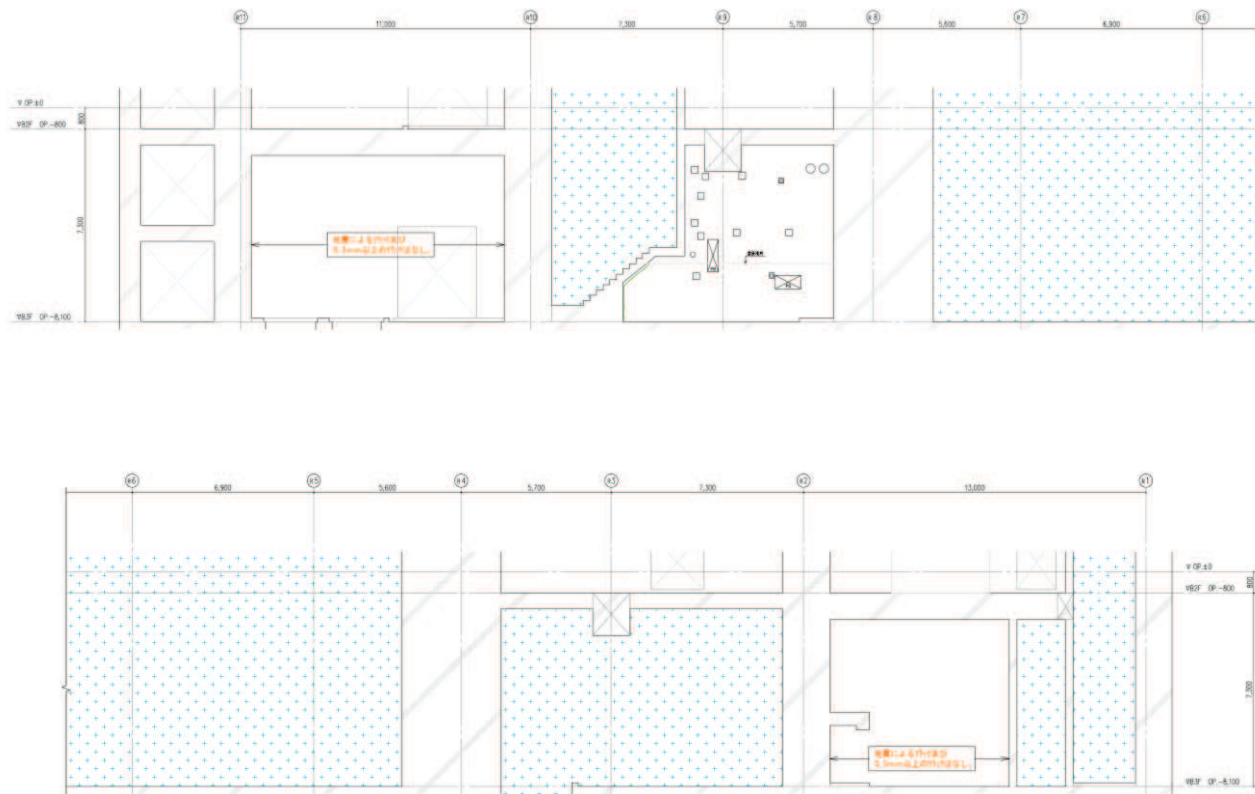
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図5 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (5) 地下3階 RA 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図6 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (6) 地下3階 RC 通り



対象とした階

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図7 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (7) 地下3階 RJ 通り

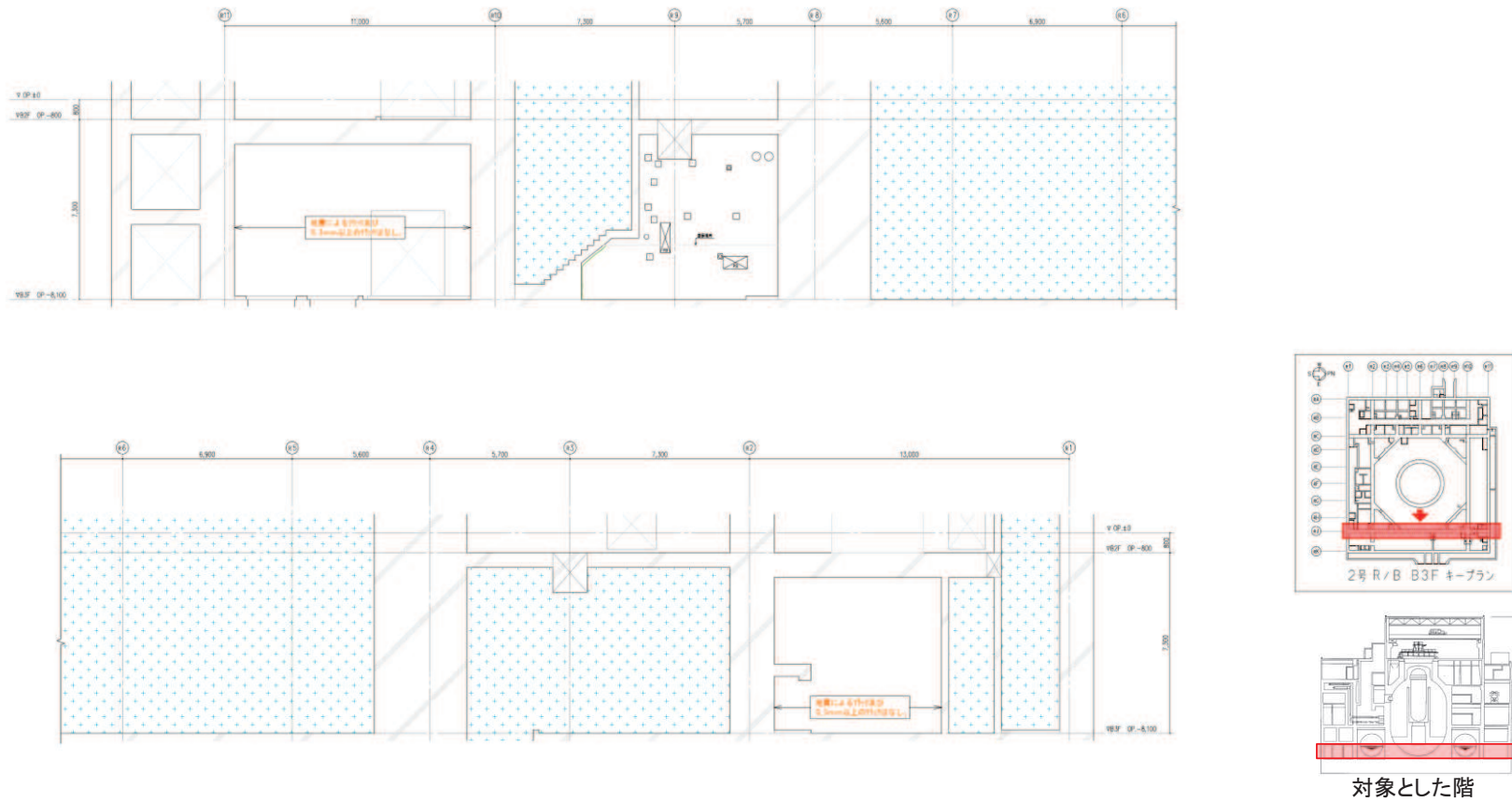
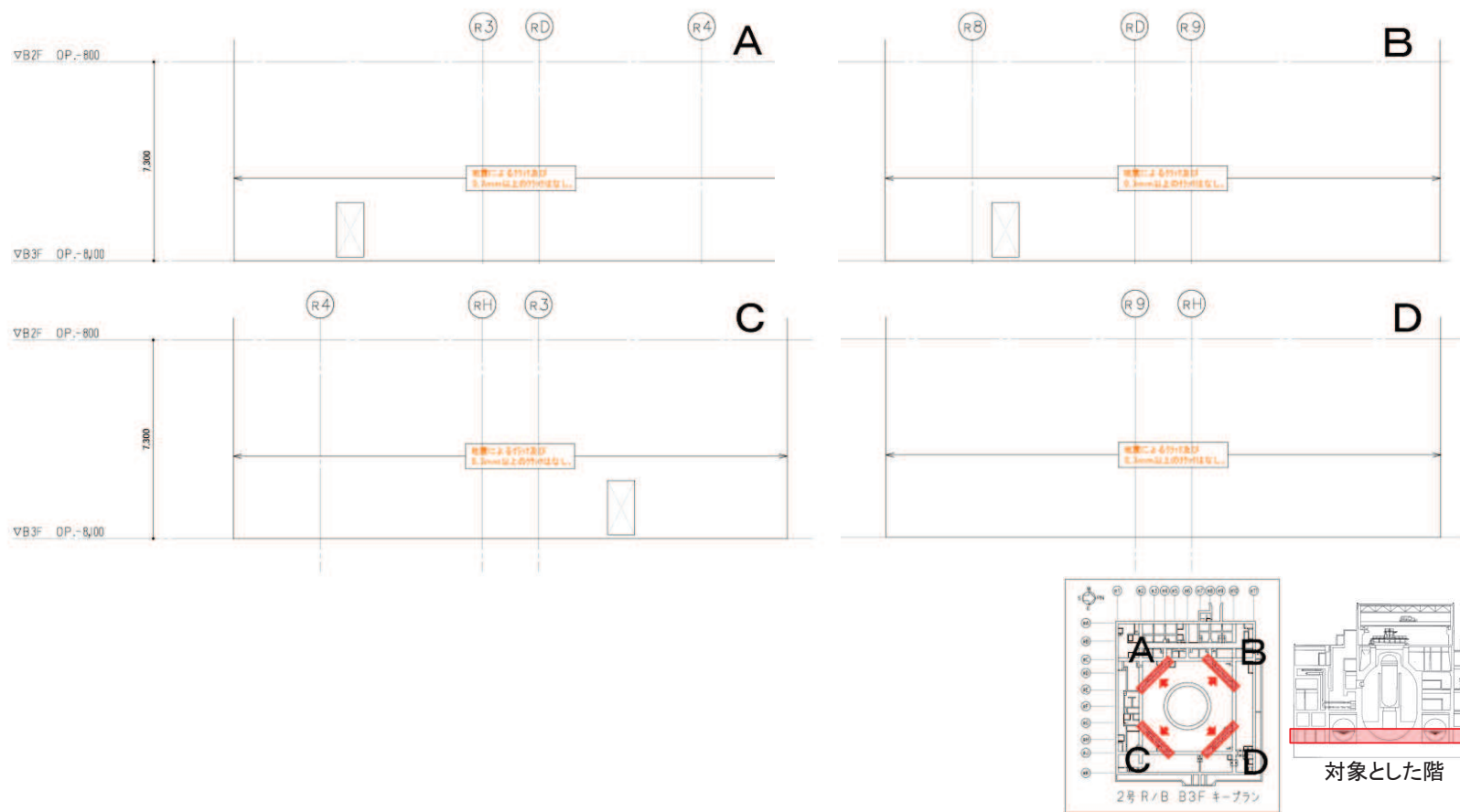
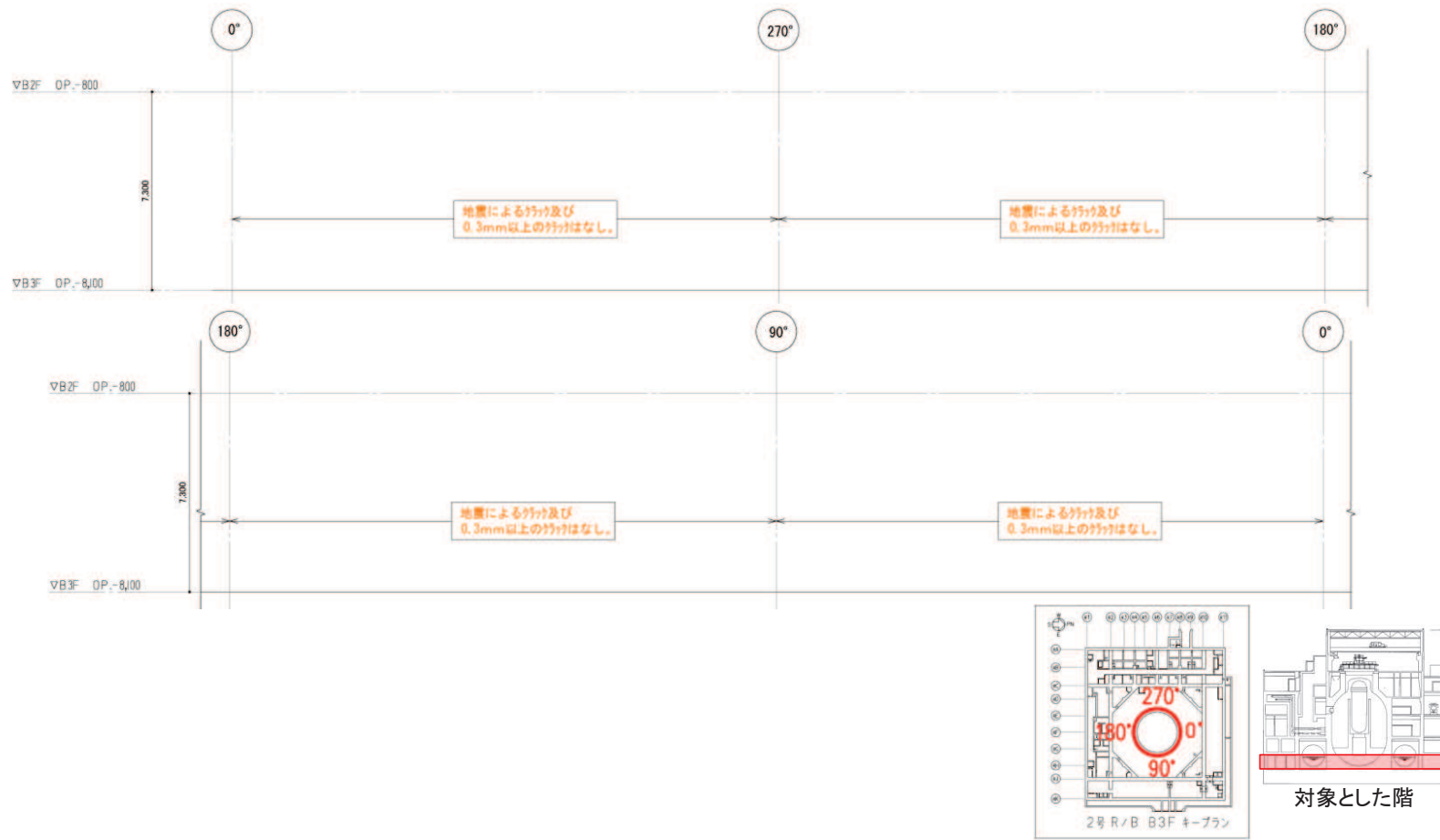


図8 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (8) 地下3階 RK 通り



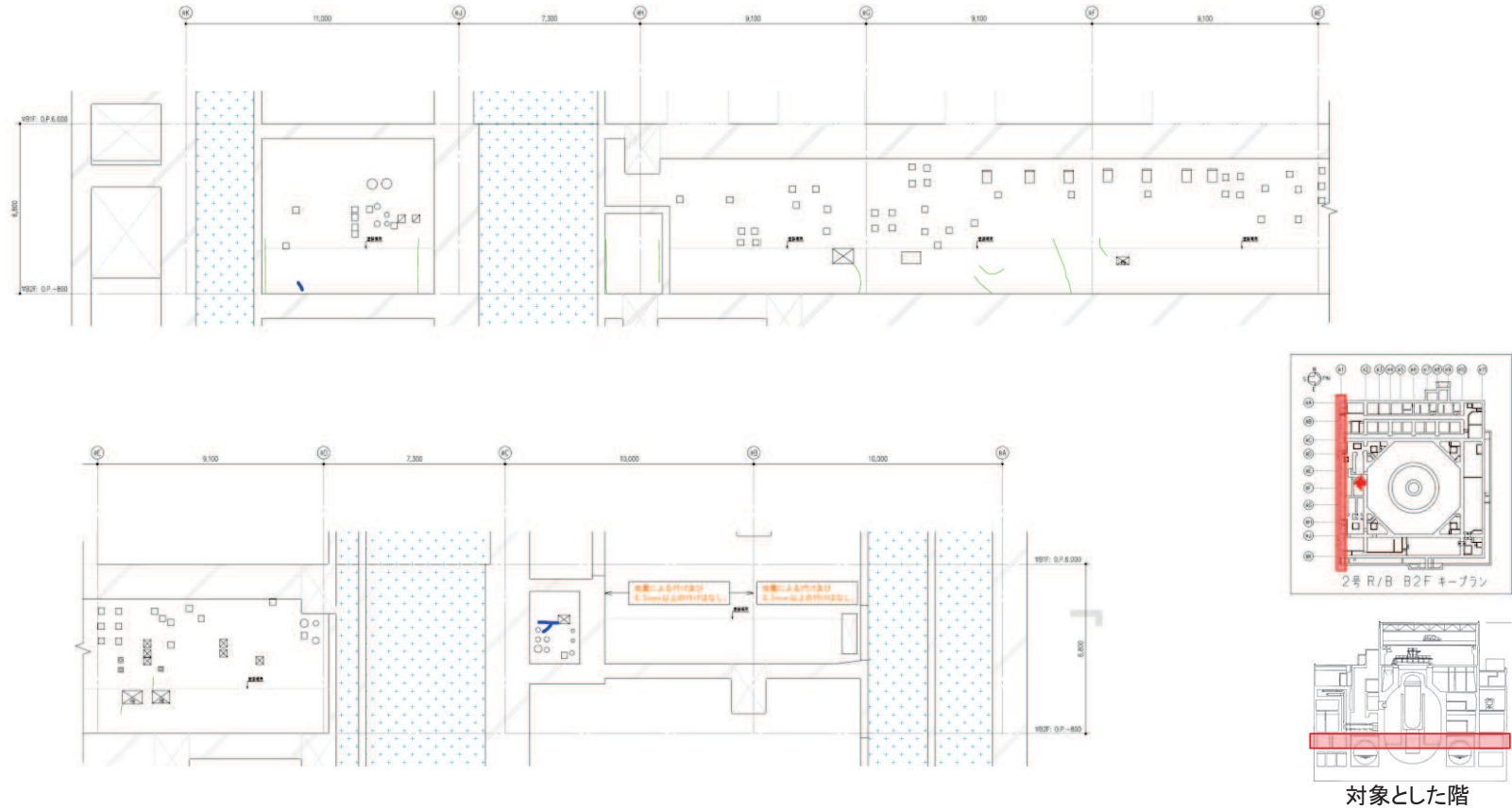
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上			確認不能の範囲

図9 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (9) 地下3階 火打ち壁



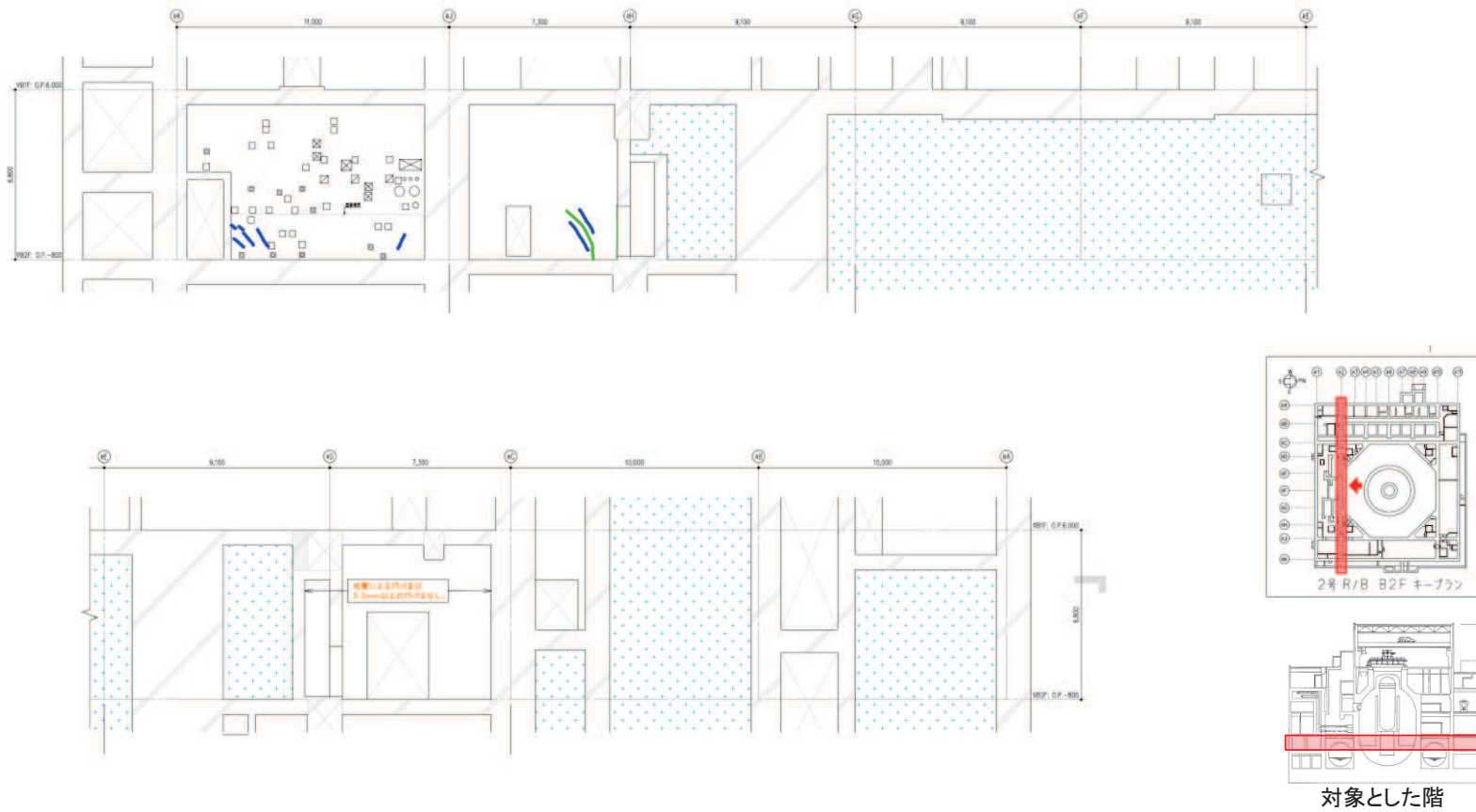
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	—	幅未確認
—	0.3mm以上~1.0mm未満	—	—	はくらく
—	1.0mm以上	—	—	確認不能の範囲

図10 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (10) 地下3階 シェル壁



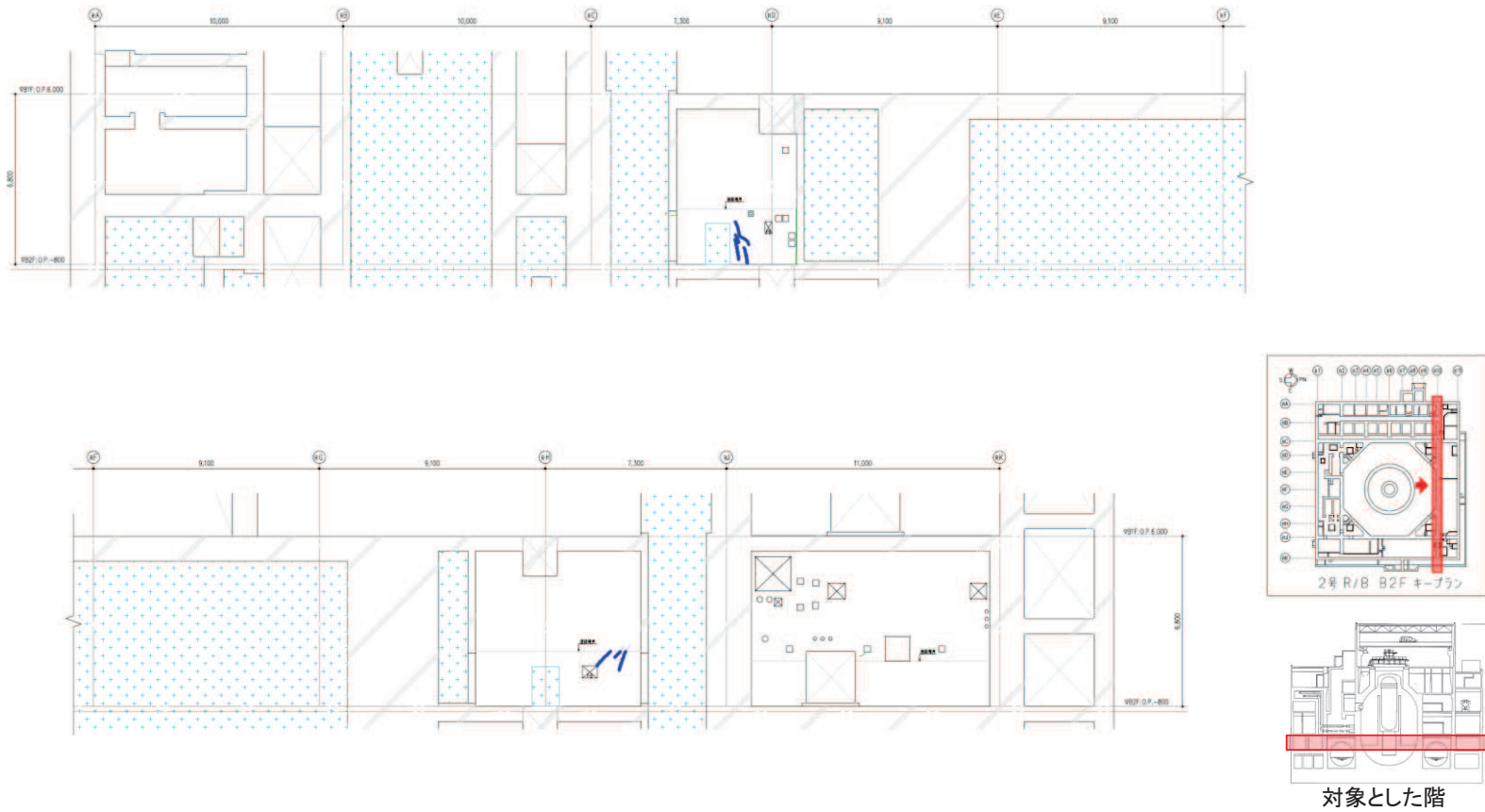
地震による		地震以外		
— 0.3mm未満		— 0.3mm以上~1.0mm未満	— 1.0mm以上	幅未確認
— 0.3mm以上~1.0mm未満		— 1.0mm以上		はくらく
— 1.0mm以上				確認不能の範囲

図 11 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (11) 地下 2 階 R1 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 12 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (12) 地下 2 階 R2 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 13 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (13) 地下 2 階 R10 通り

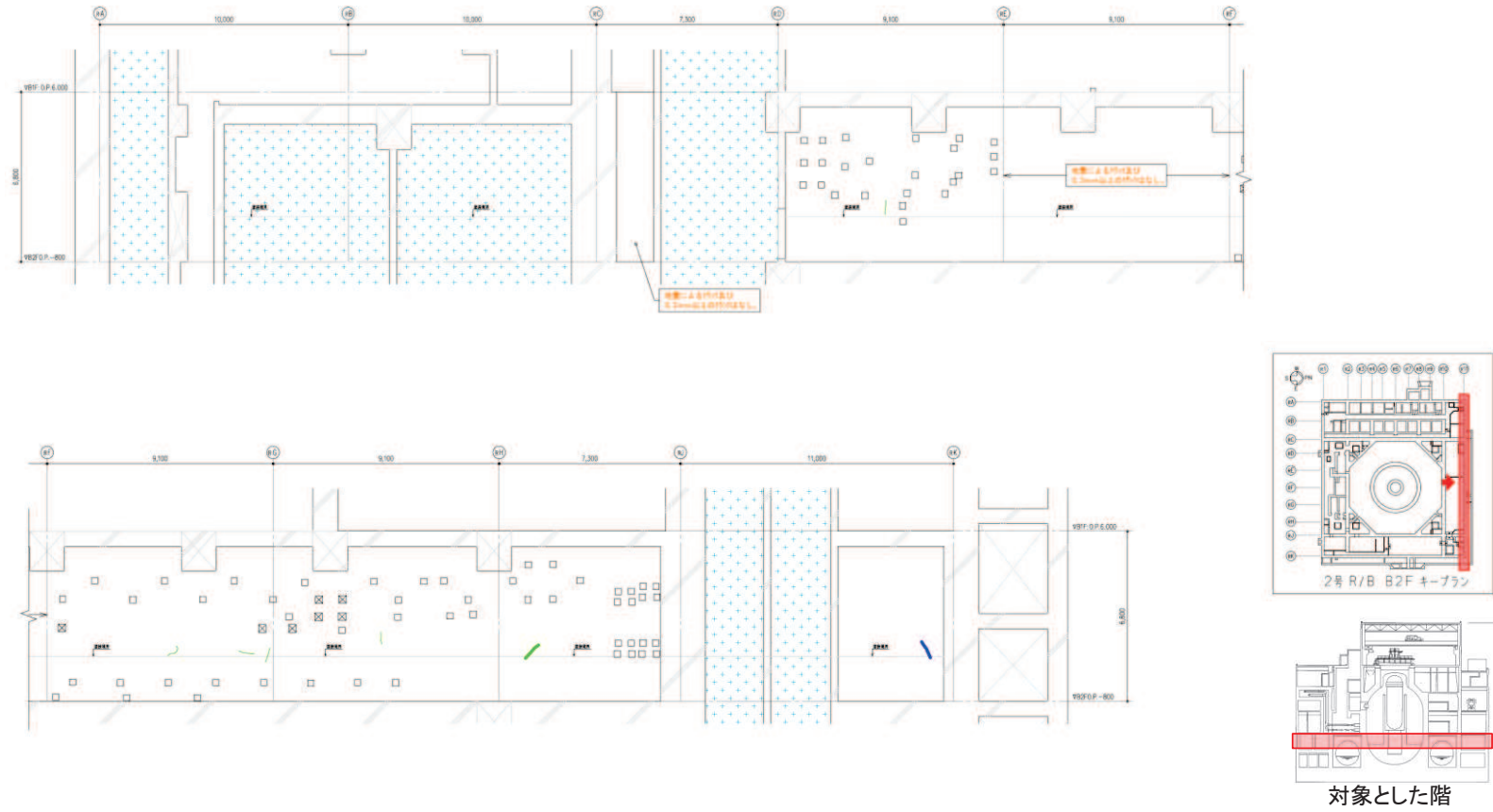
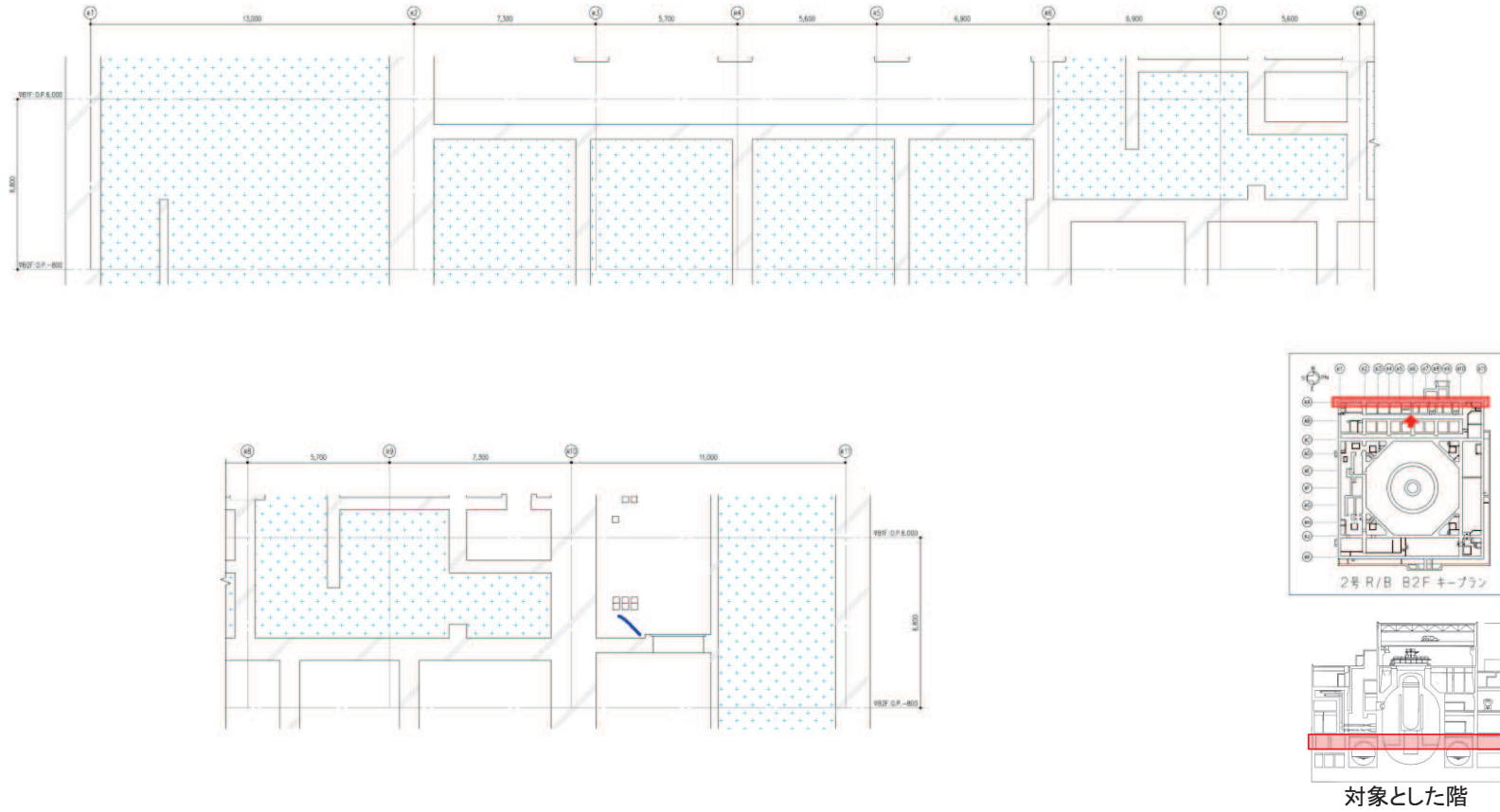
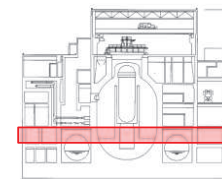
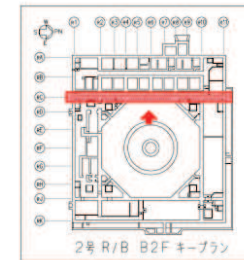
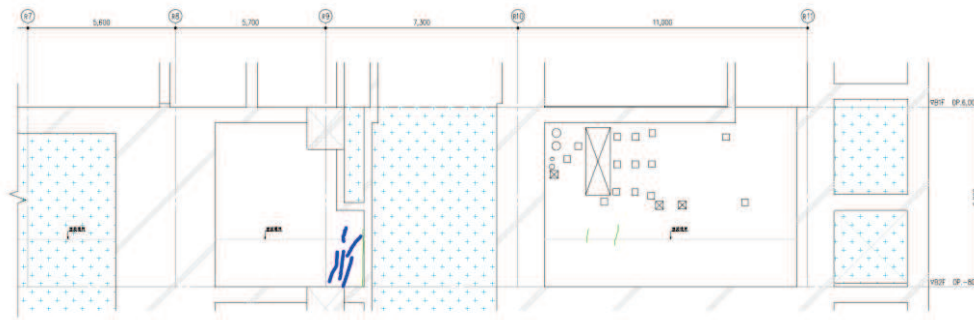
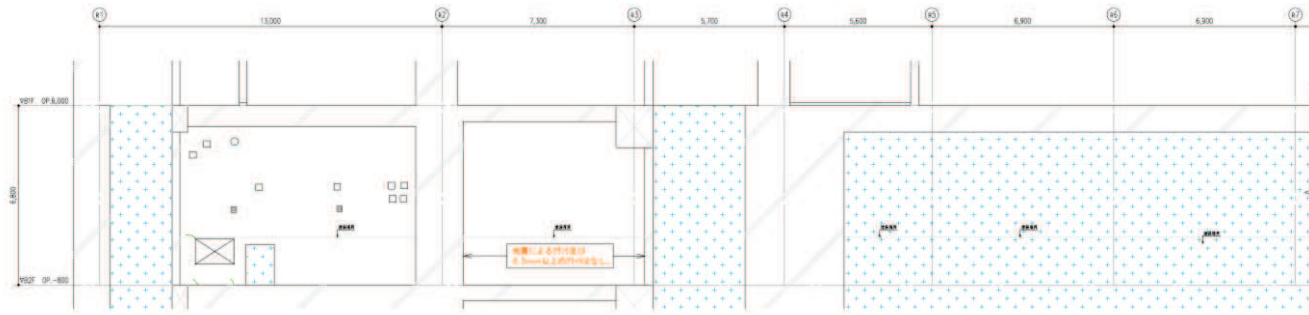


図 14 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (14) 地下 2 階 R11 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

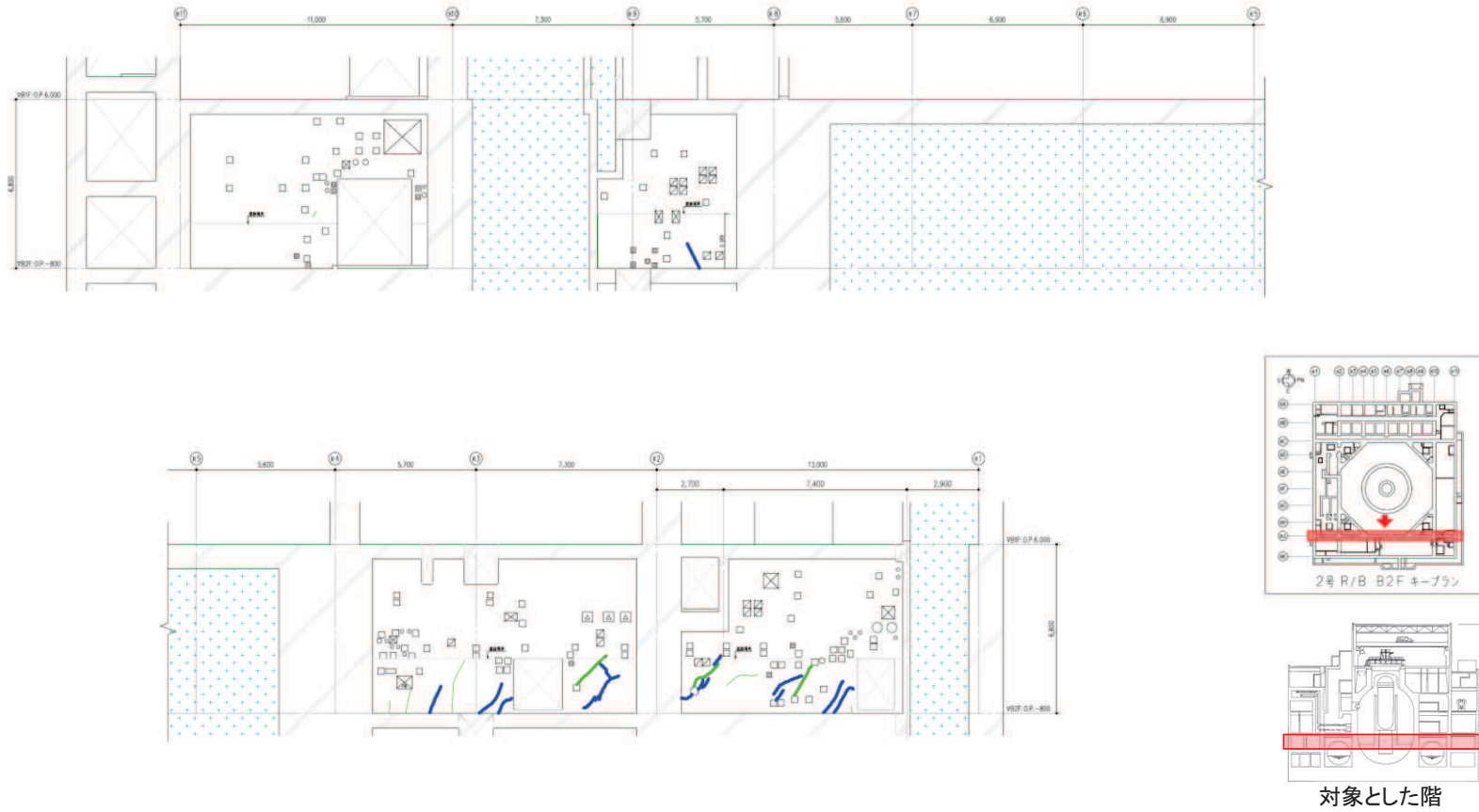
図 15 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (15) 地下 2 階 RA 通り



対象とした階

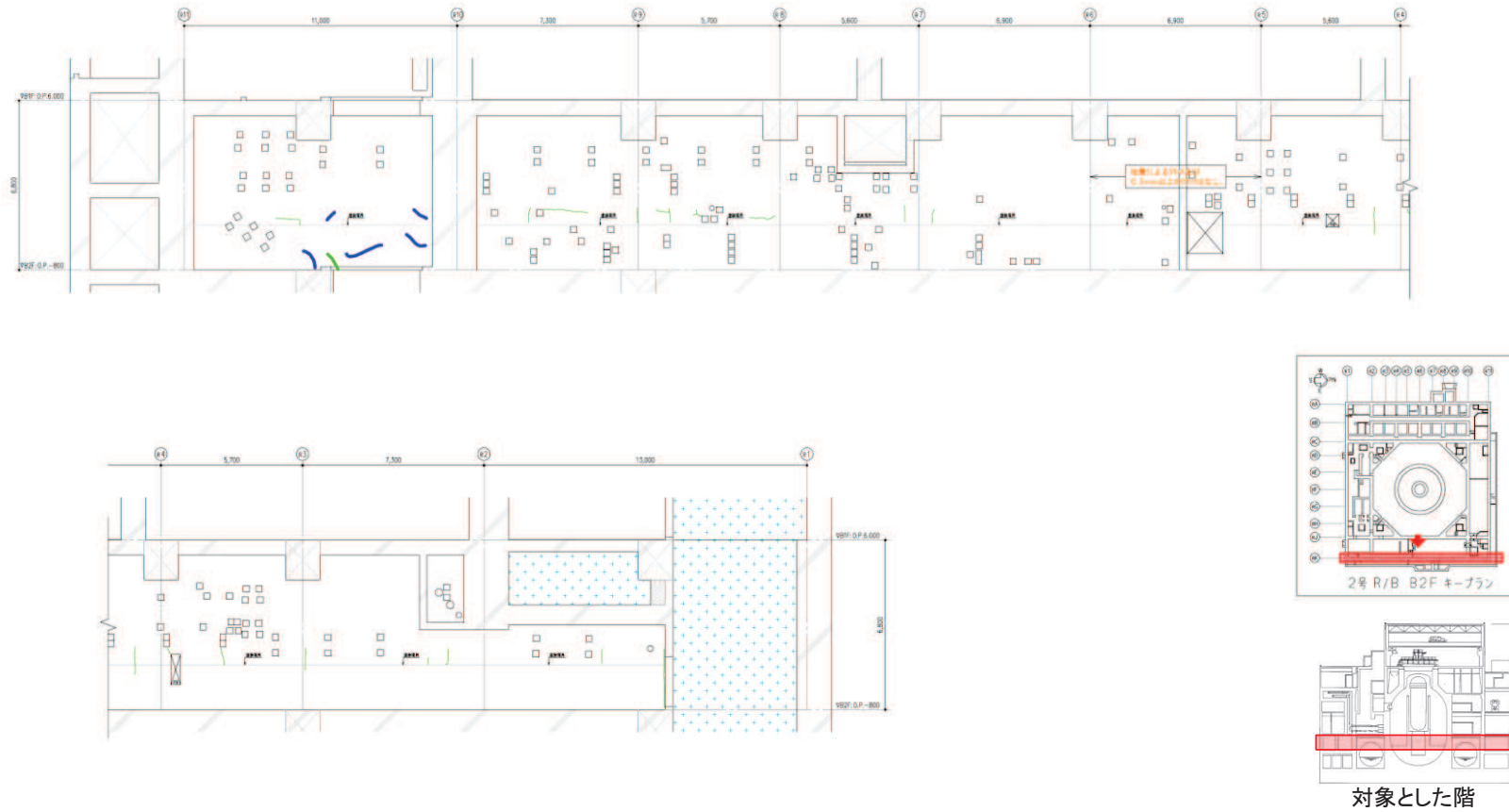
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上~1.0mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 16 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (16) 地下 2 階 RC 通り



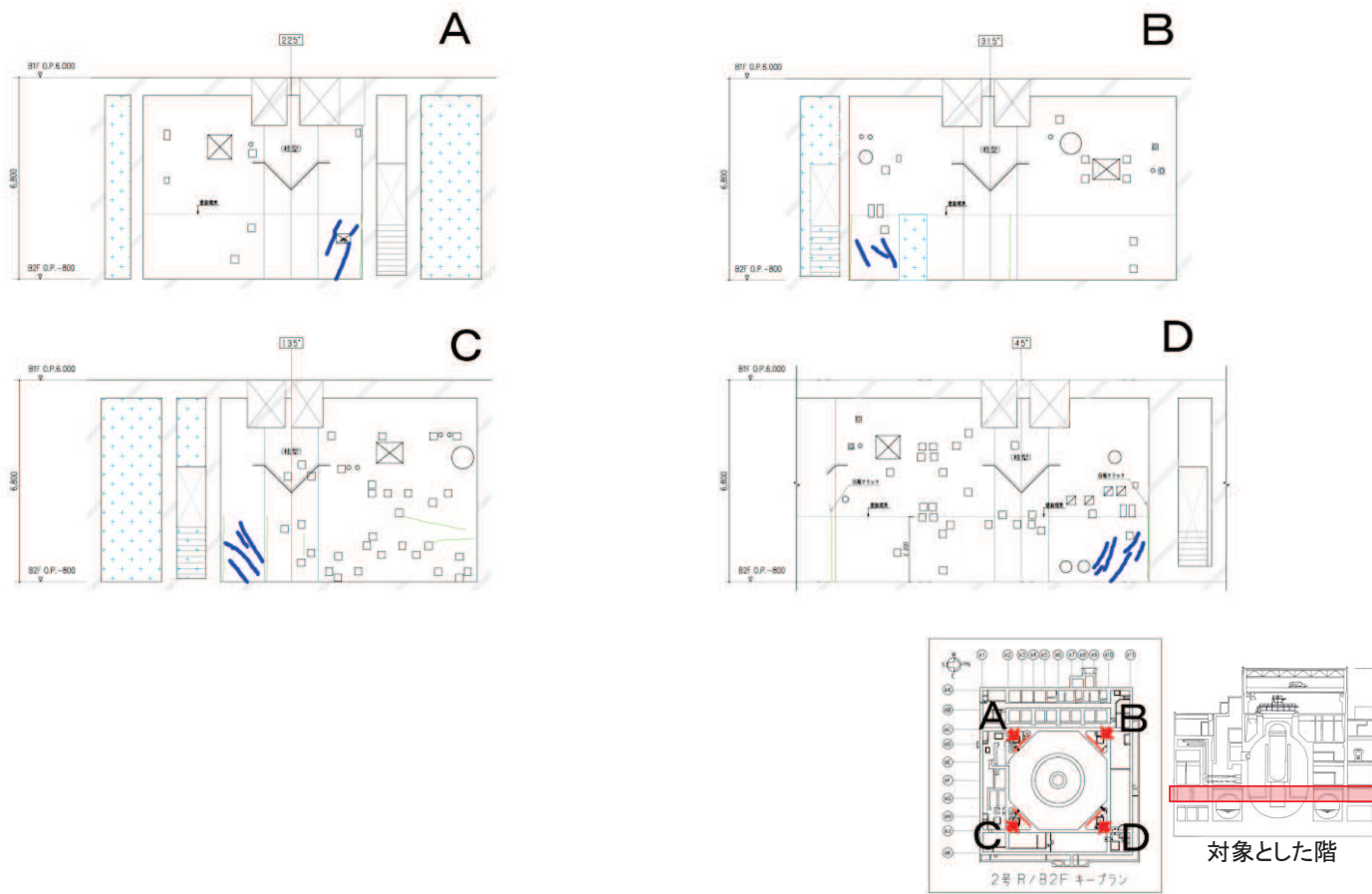
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 17 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (17) 地下 2 階 RJ 通り



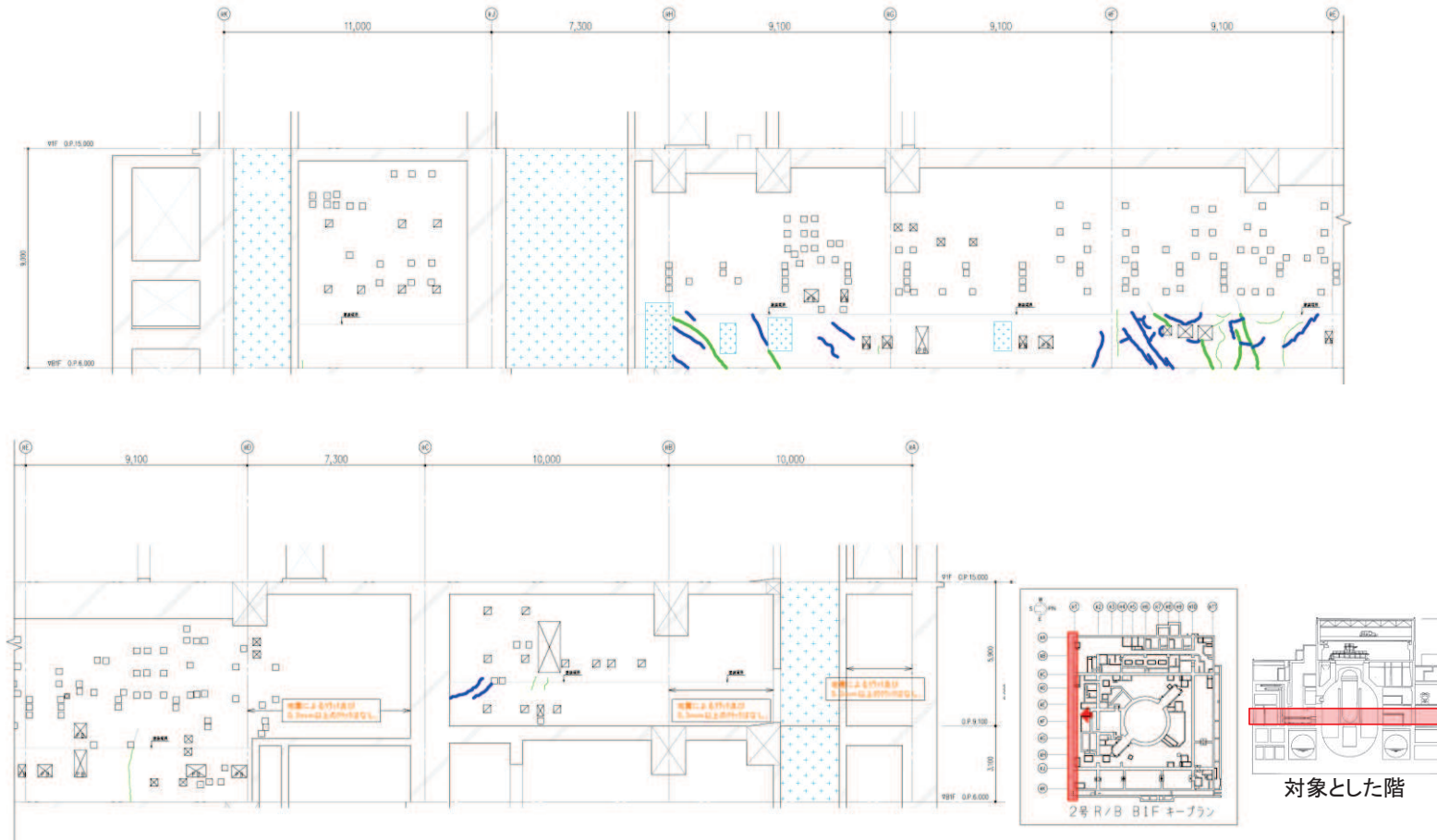
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 18 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (18) 地下 2 階 RK 通り



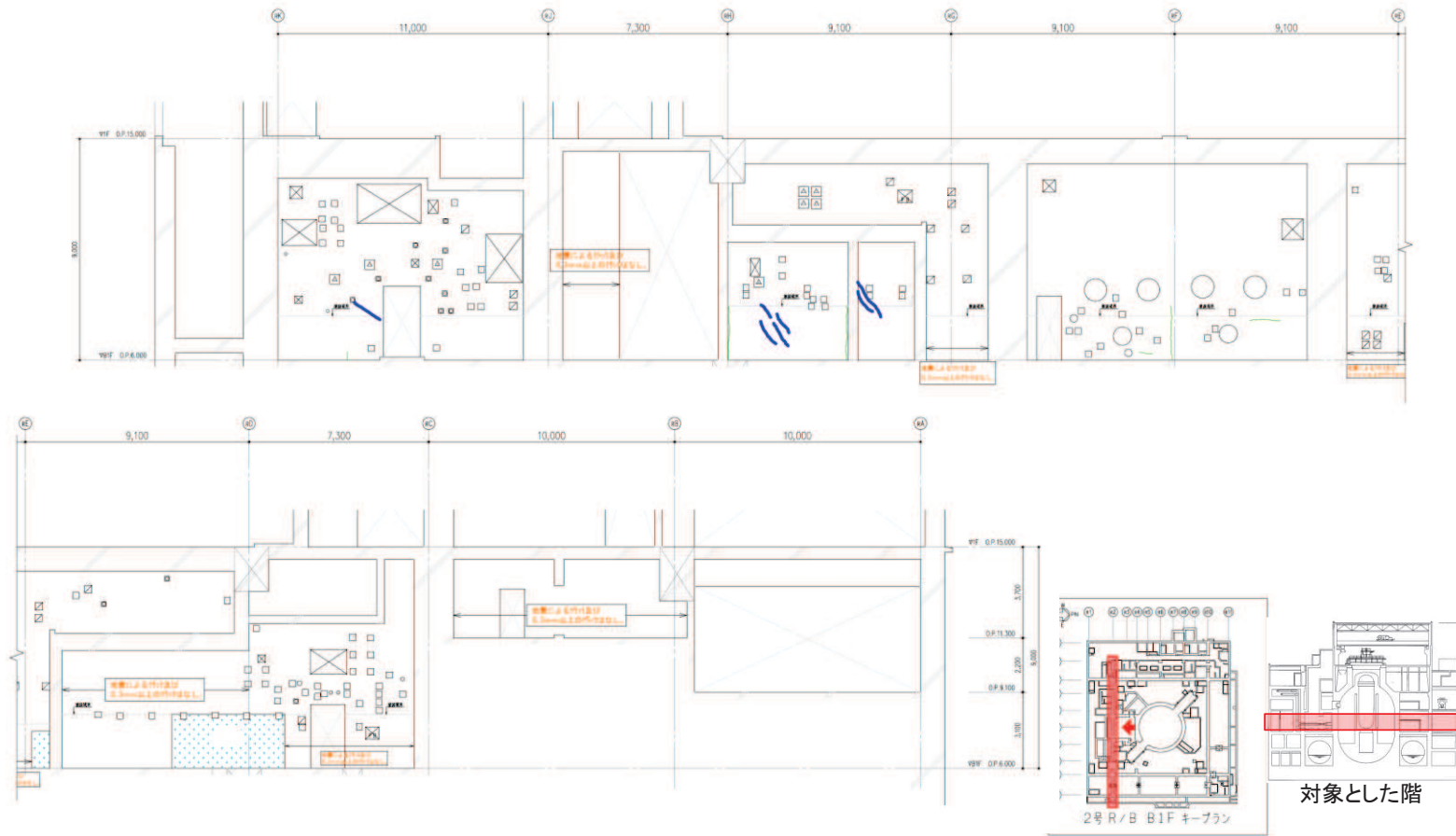
地震による		地震以外		
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上	はくらく
	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 19 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (19) 地下 2 階 火打ち壁



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 20 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (20) 地下 1 階 R 1 通り



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 21 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (21) 地下 1 階 R2 通り

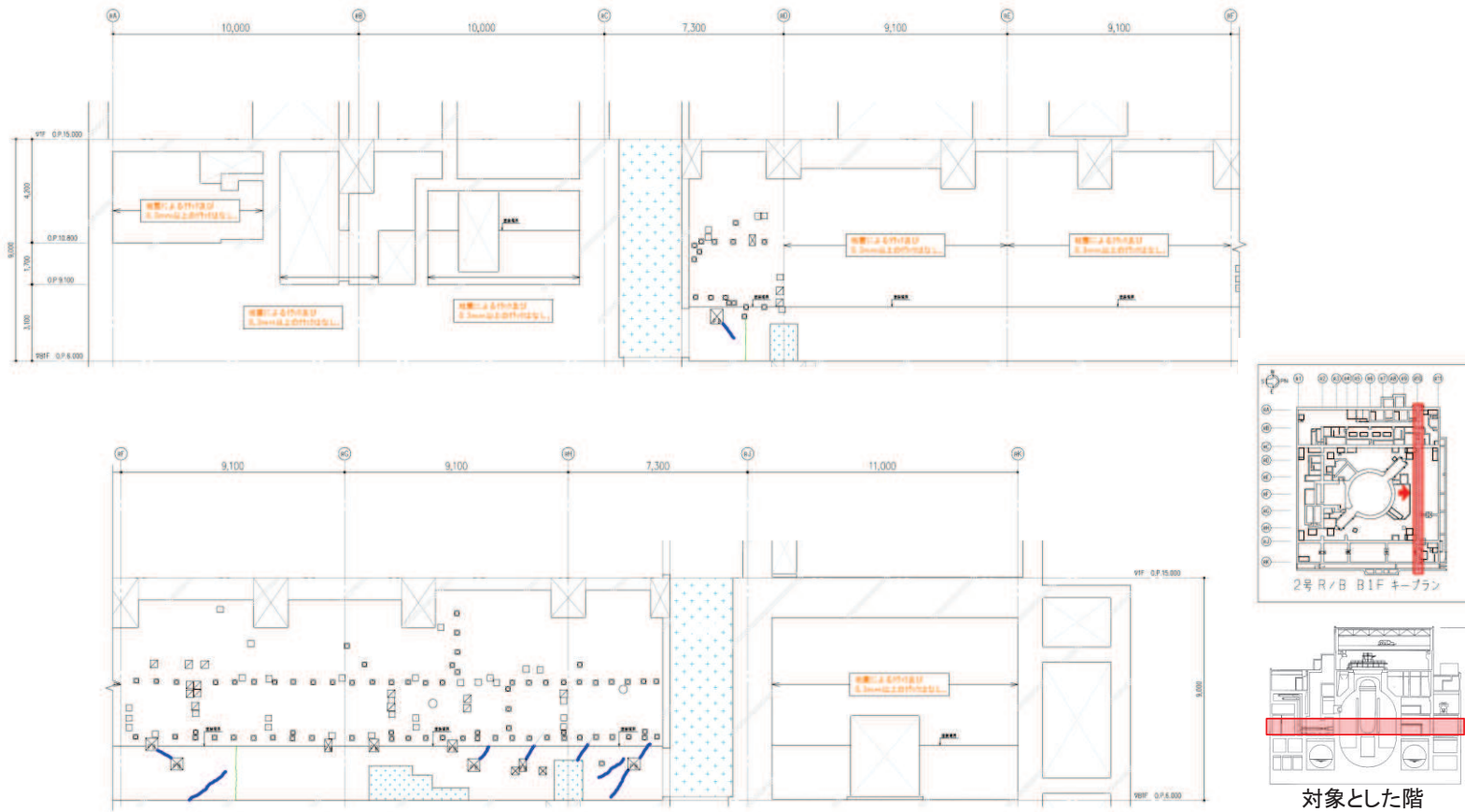
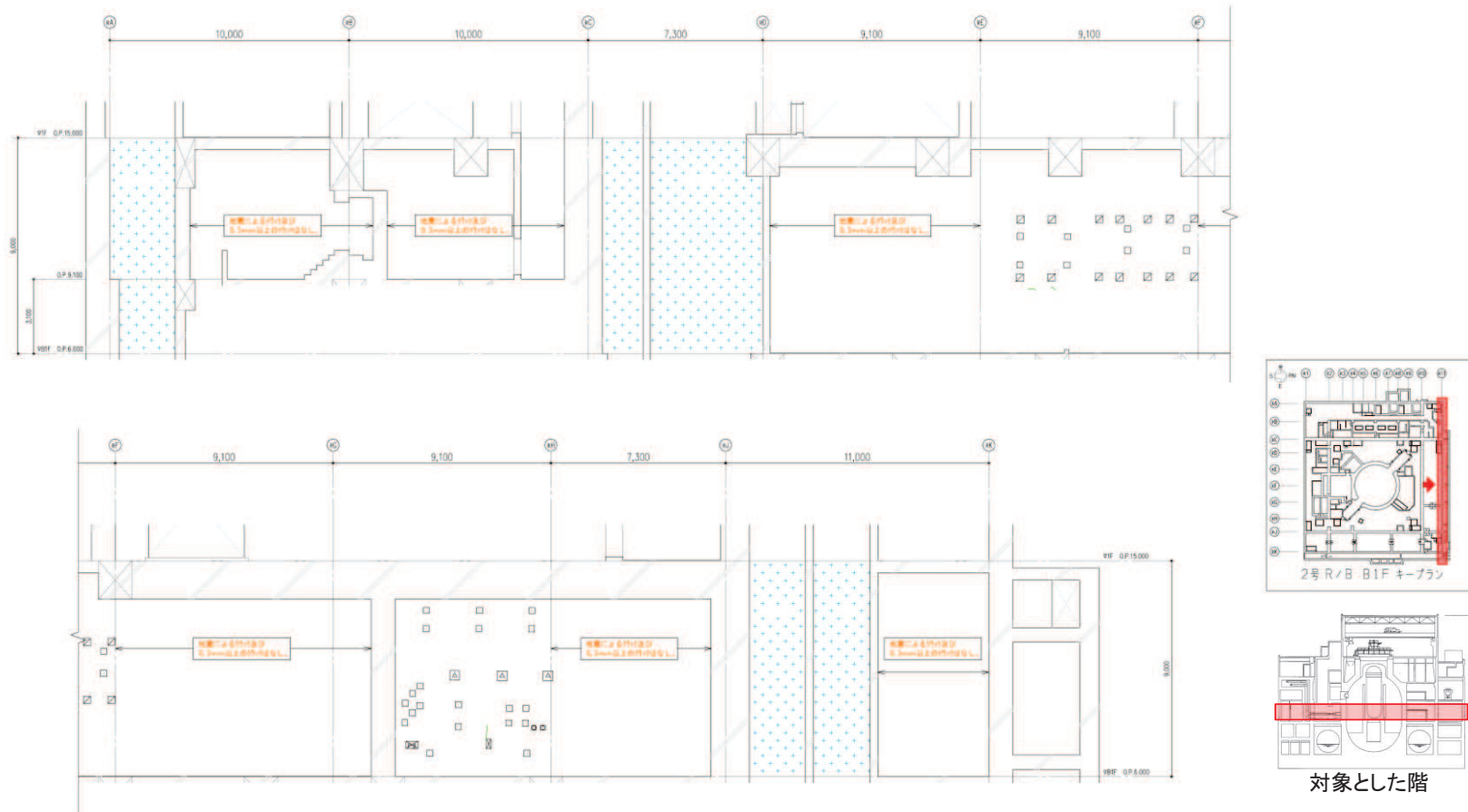
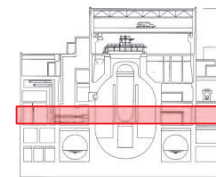
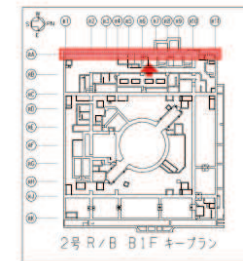
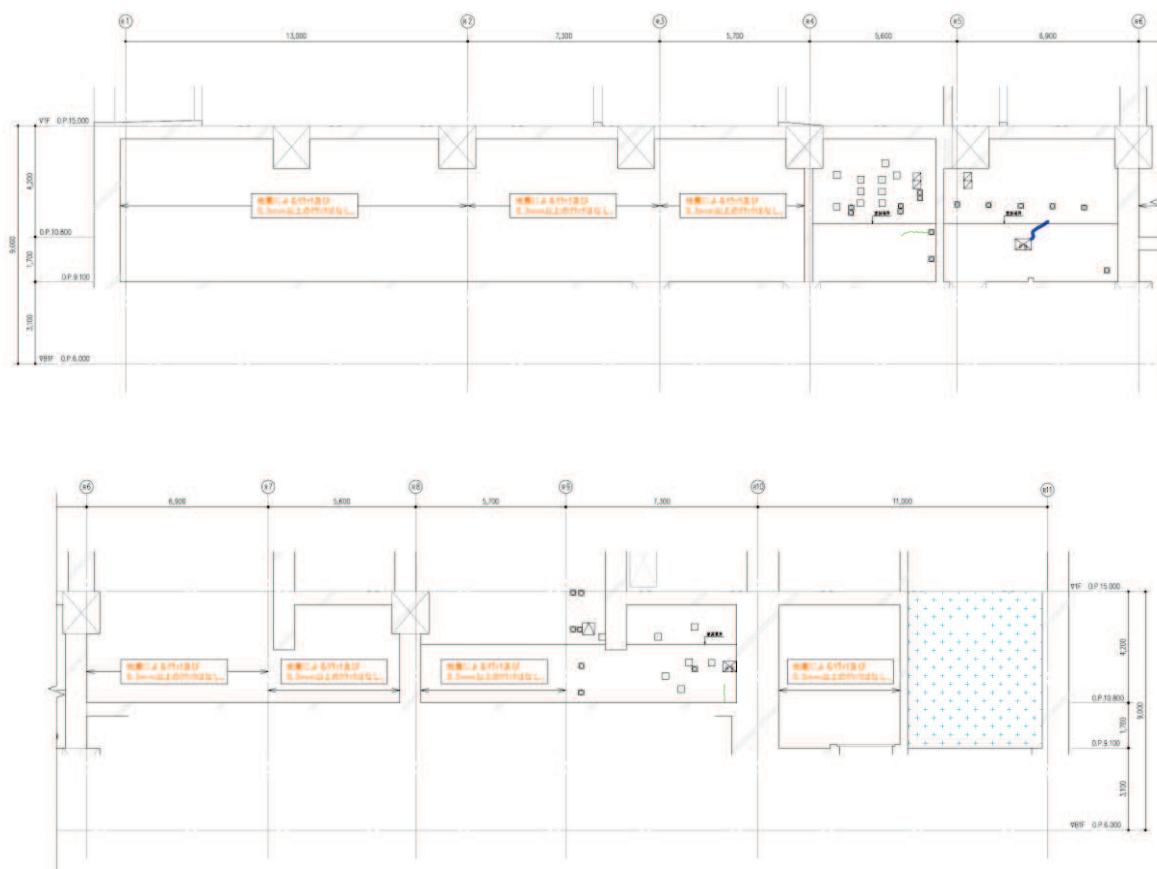


図 22 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (22) 地下 1 階 R10 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 23 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (23) 地下 1 階 R11 通り



対象とした階

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 24 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (24) 地下 1 階 RA 通り

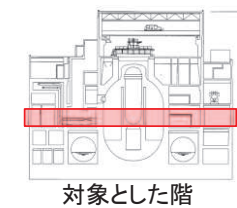
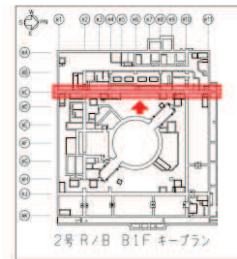
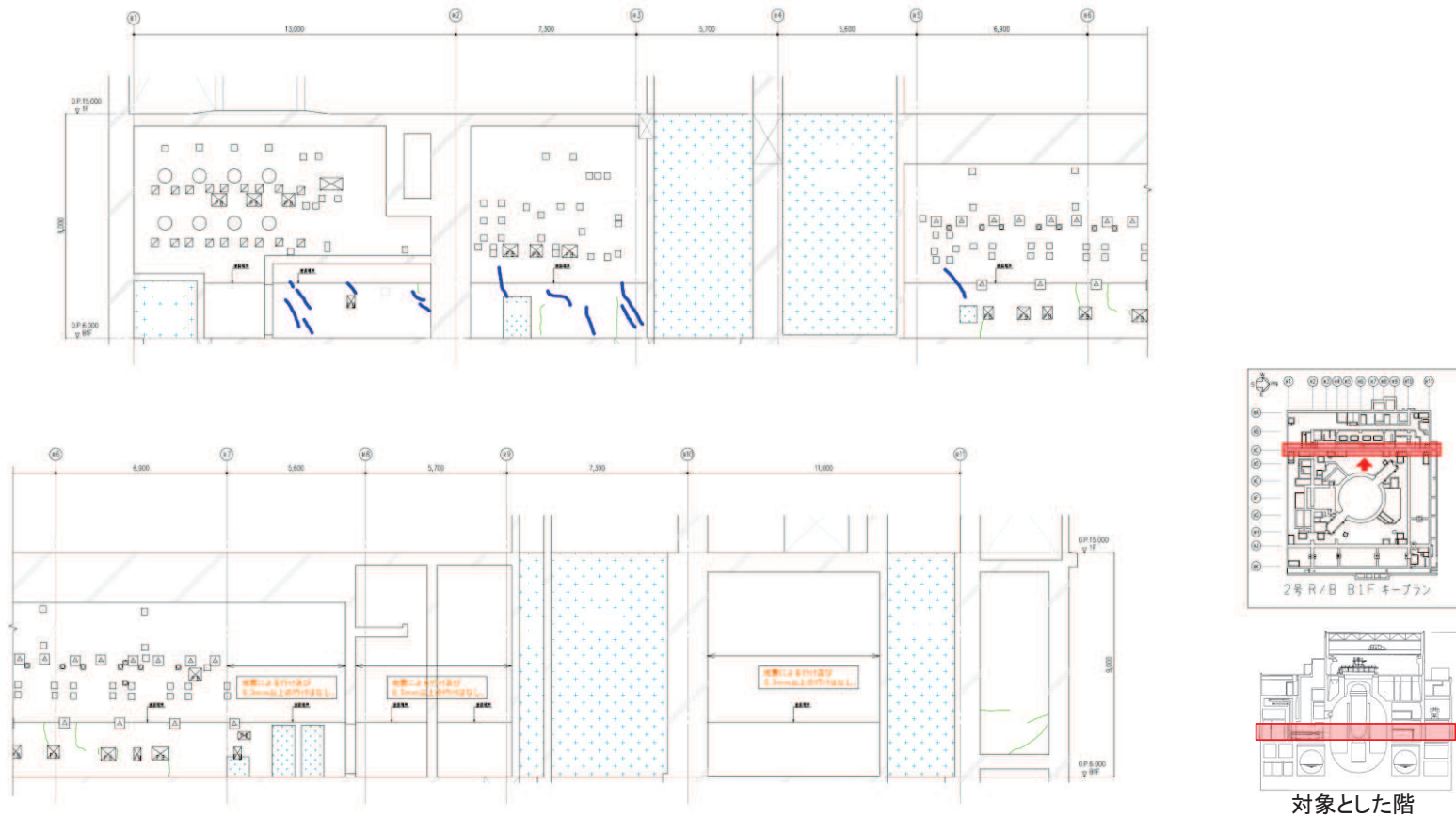
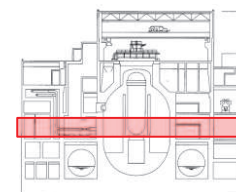
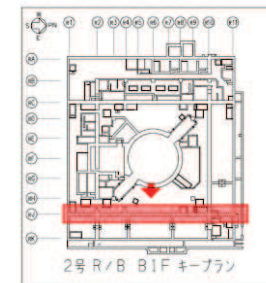
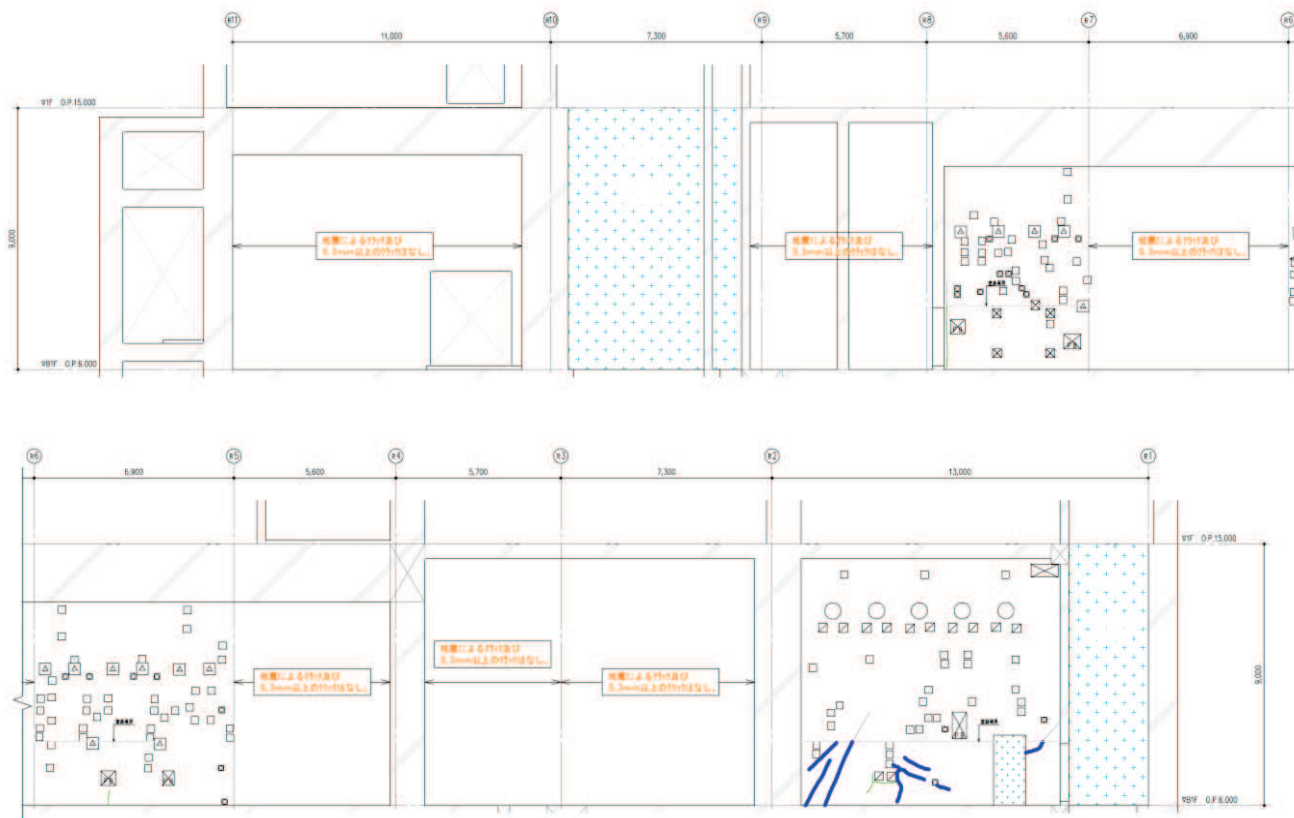


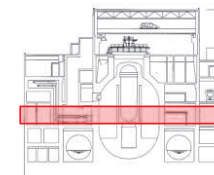
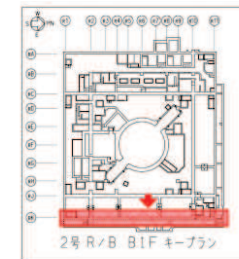
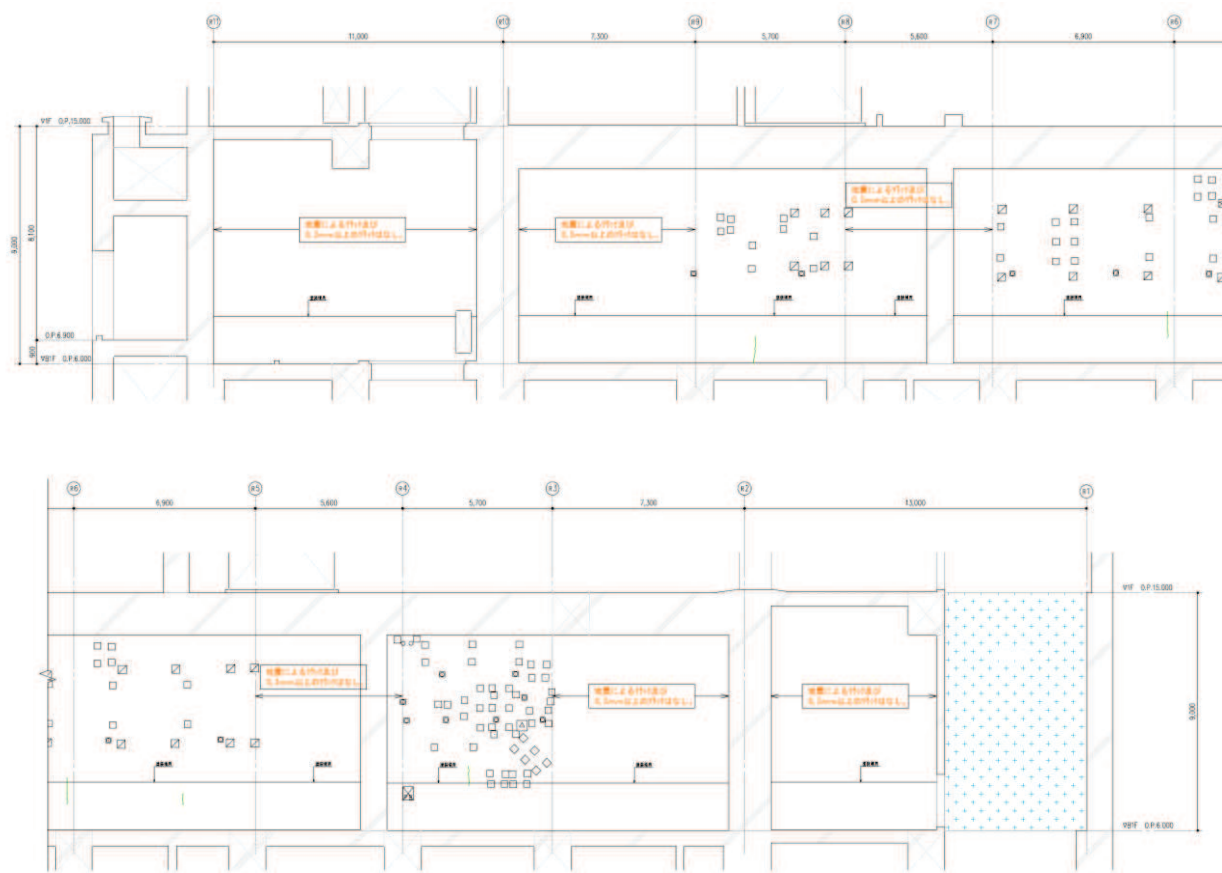
図 25 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (25) 地下1階 RC 通り



対象とした階

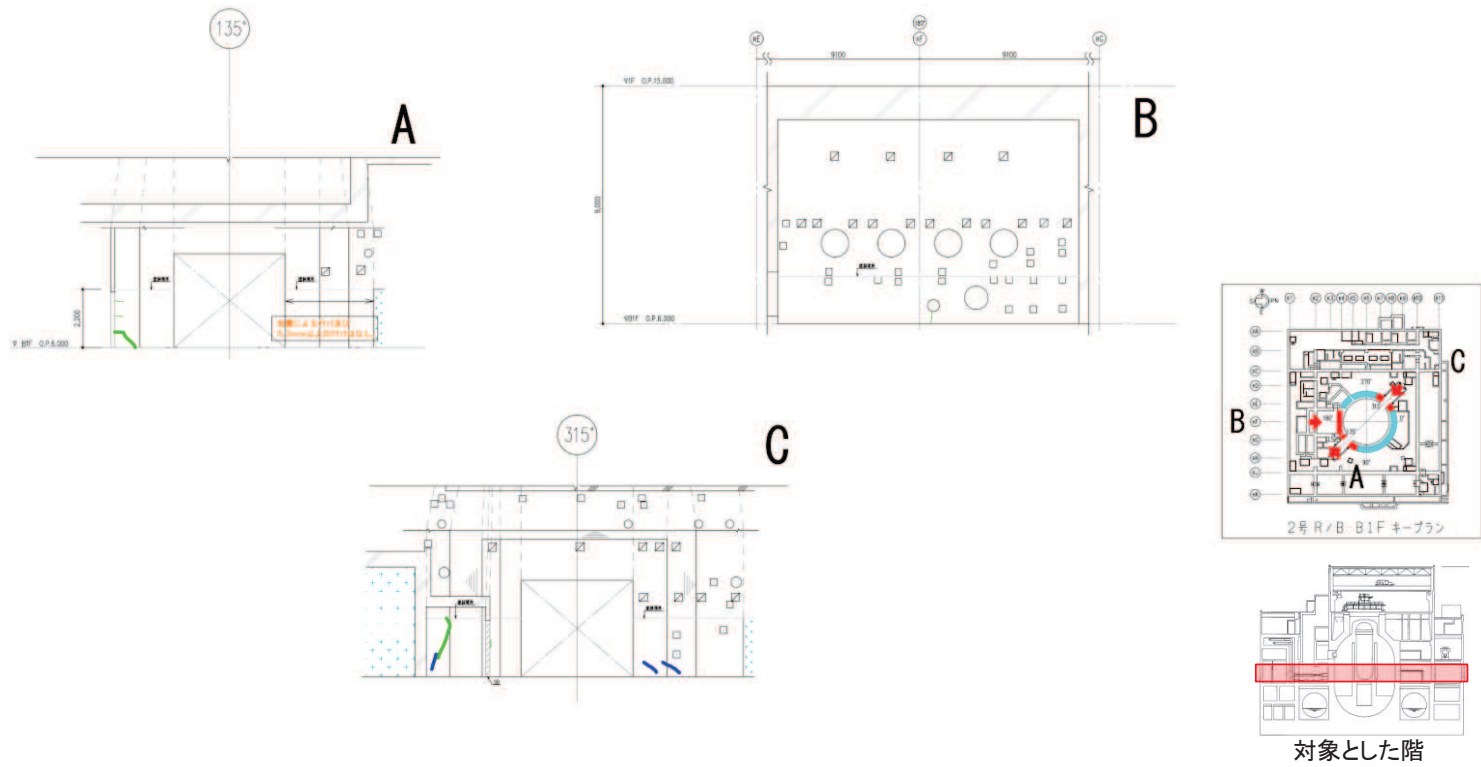
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はららく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 26 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (26) 地下 1 階 RJ 通り



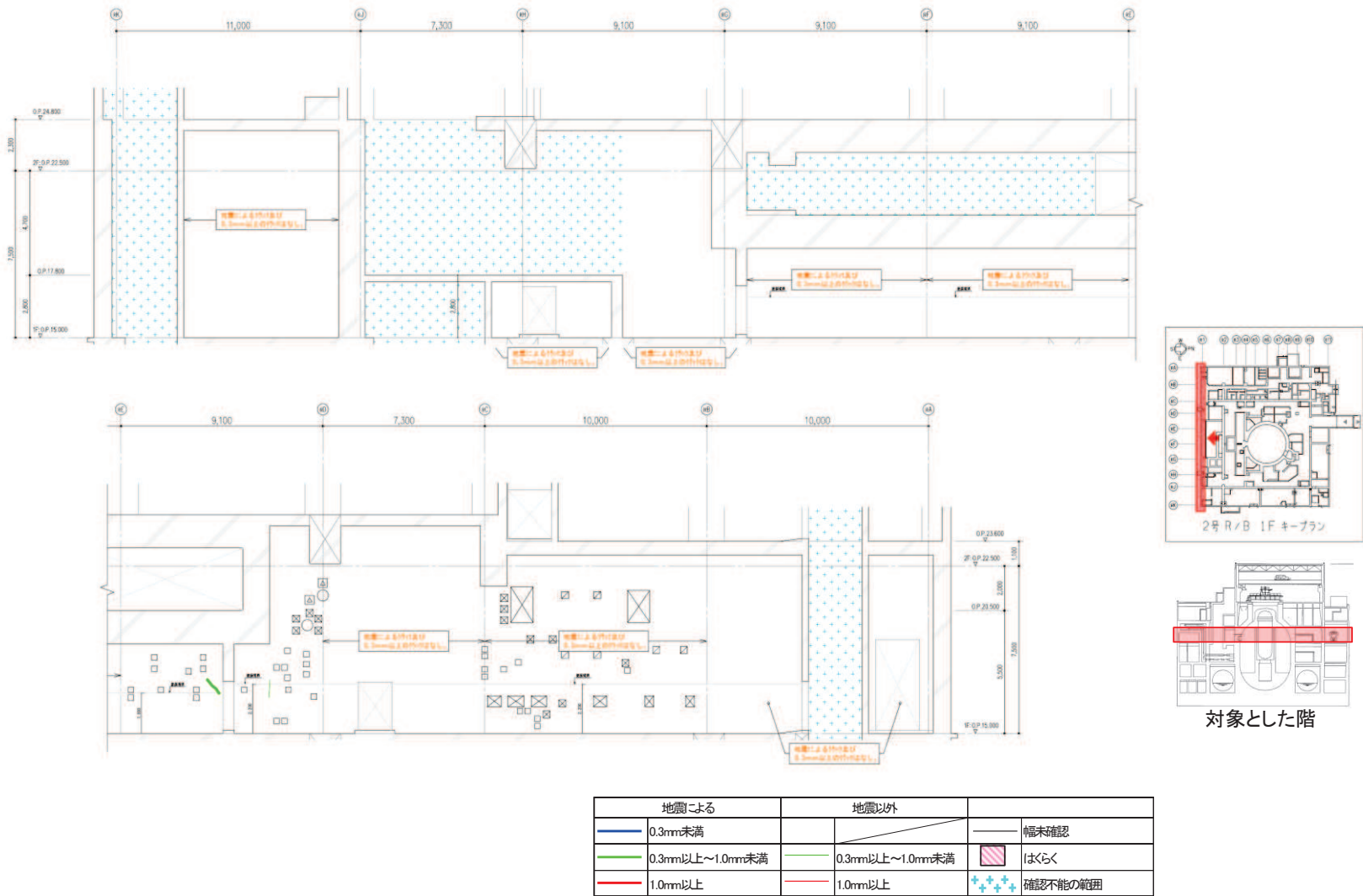
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上~1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上~1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 27 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (27) 地下 1 階 RK 通り



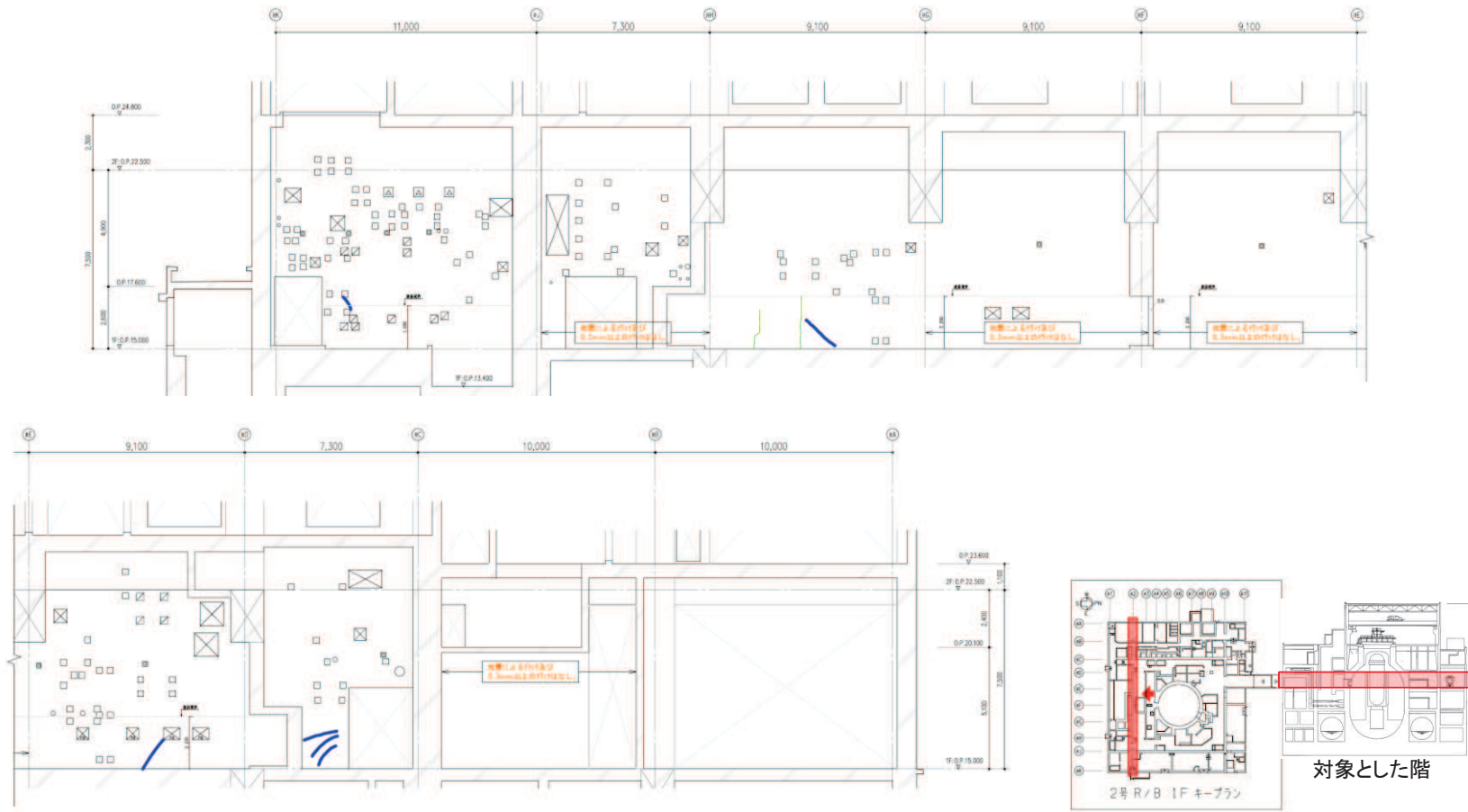
地震による		地震以外		
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上	はくらく
	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 28 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (28) 地下 1 階 シェル壁



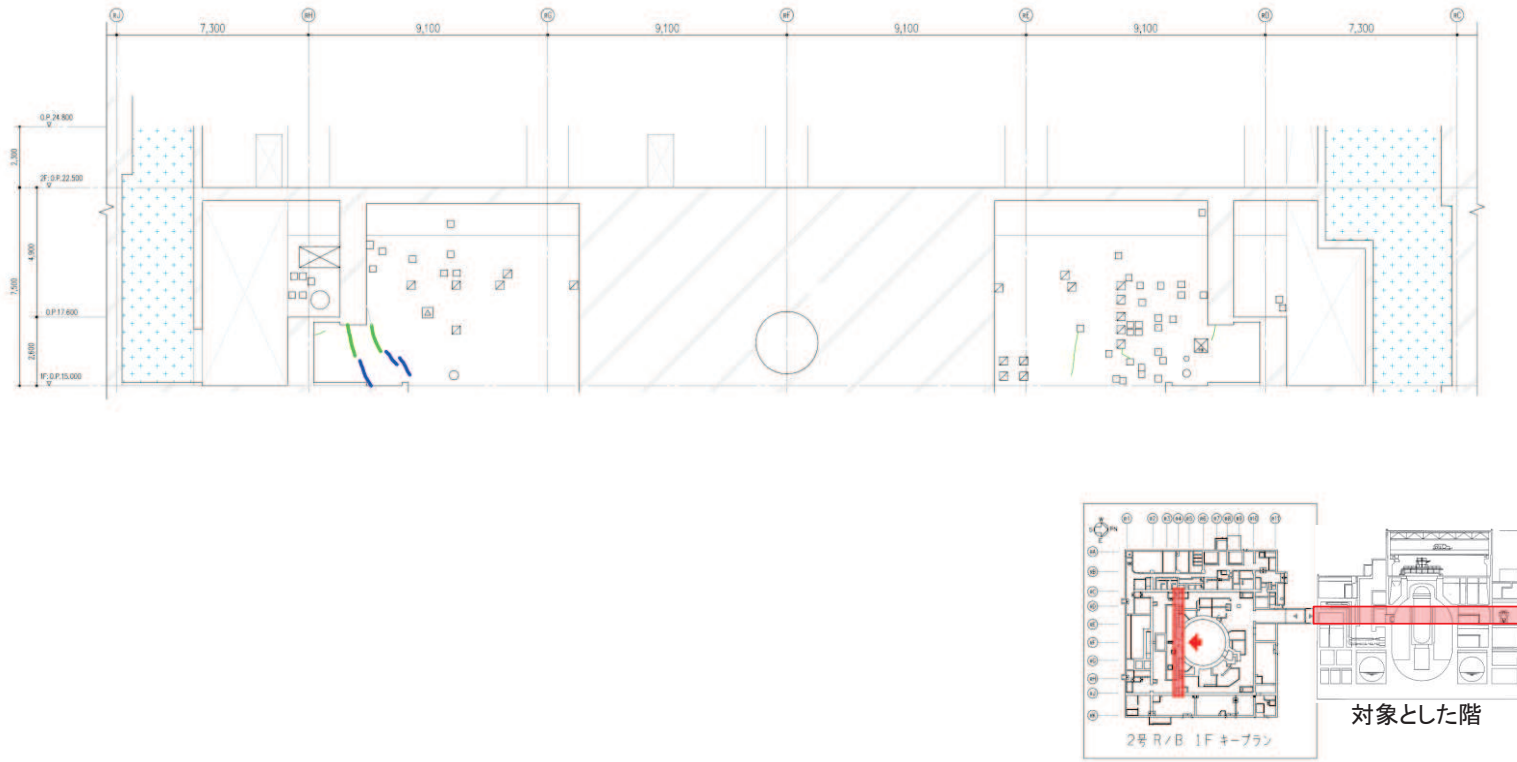
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 29 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (29) 地上 1 階 R1 通り



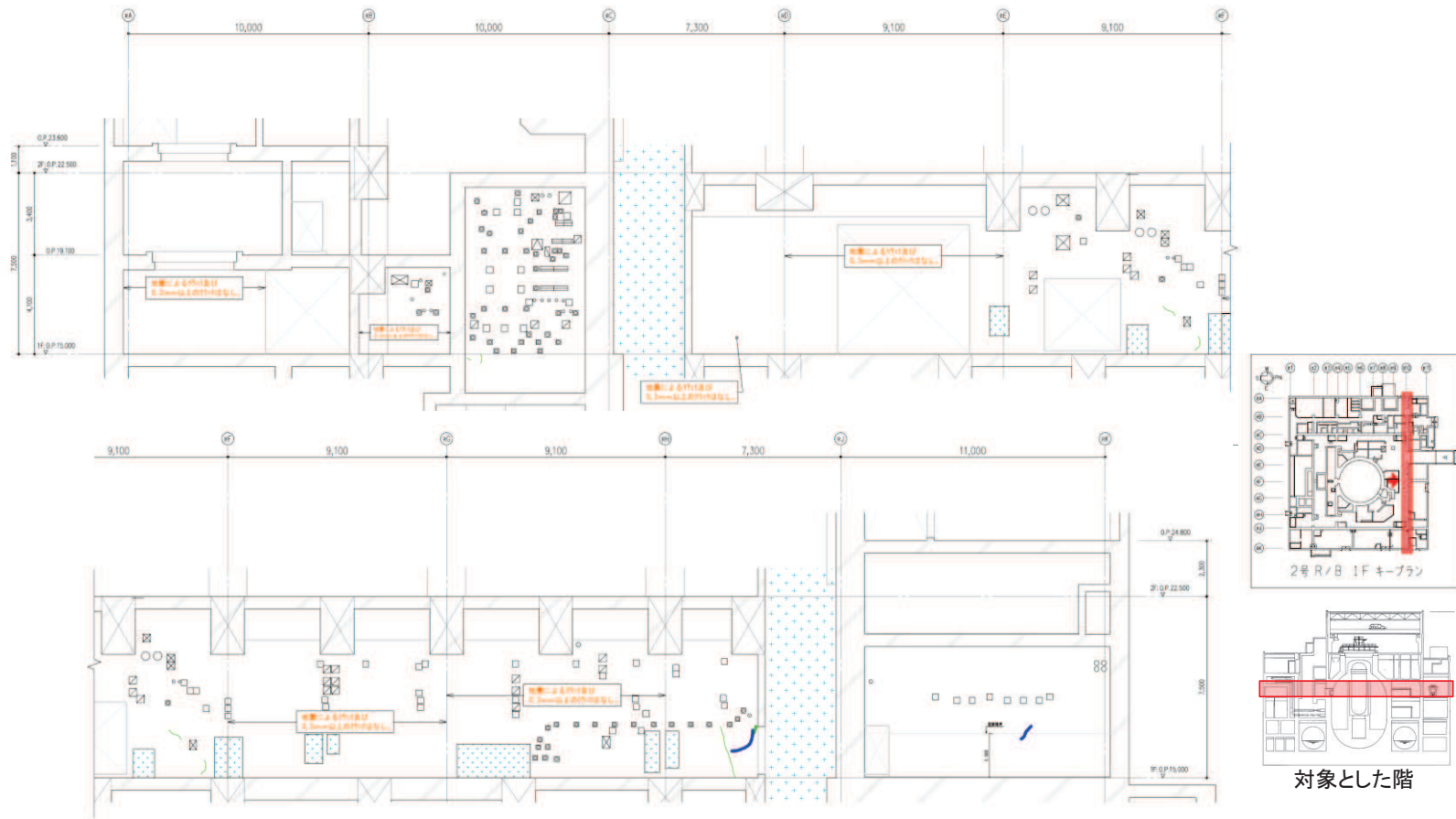
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 30 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (30) 地上 1 階 R2 通り



地震による		地震以外		
	0.3mm未満			幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上	++++ 確認不能の範囲

図 31 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (31) 地上 1 階 R4 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 32 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (32) 地上 1 階 R10 通り

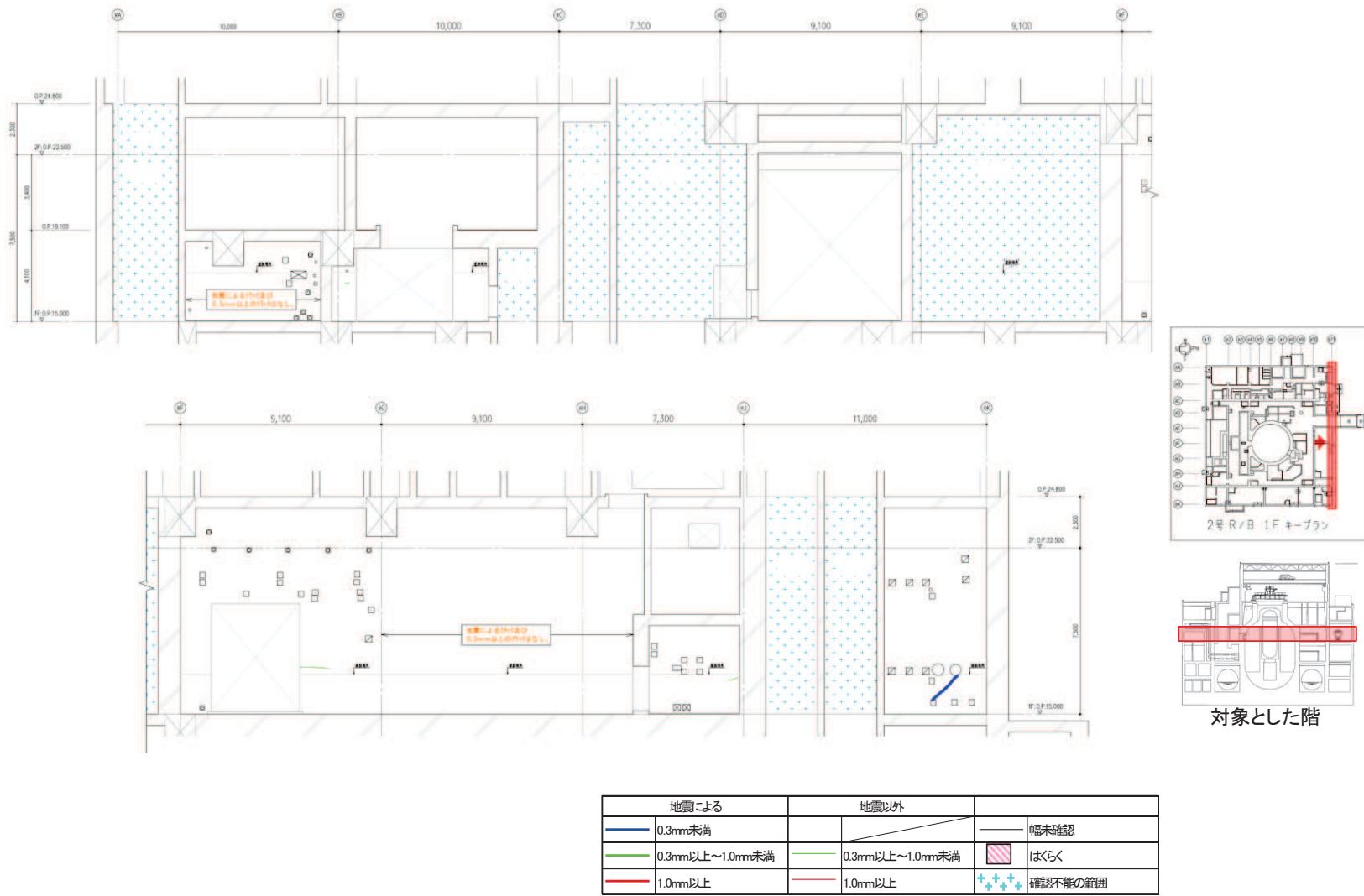
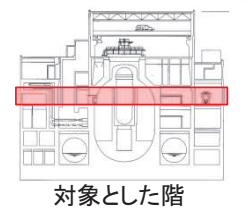
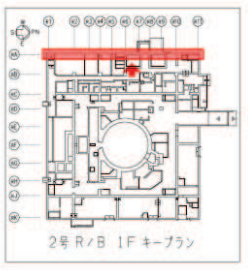
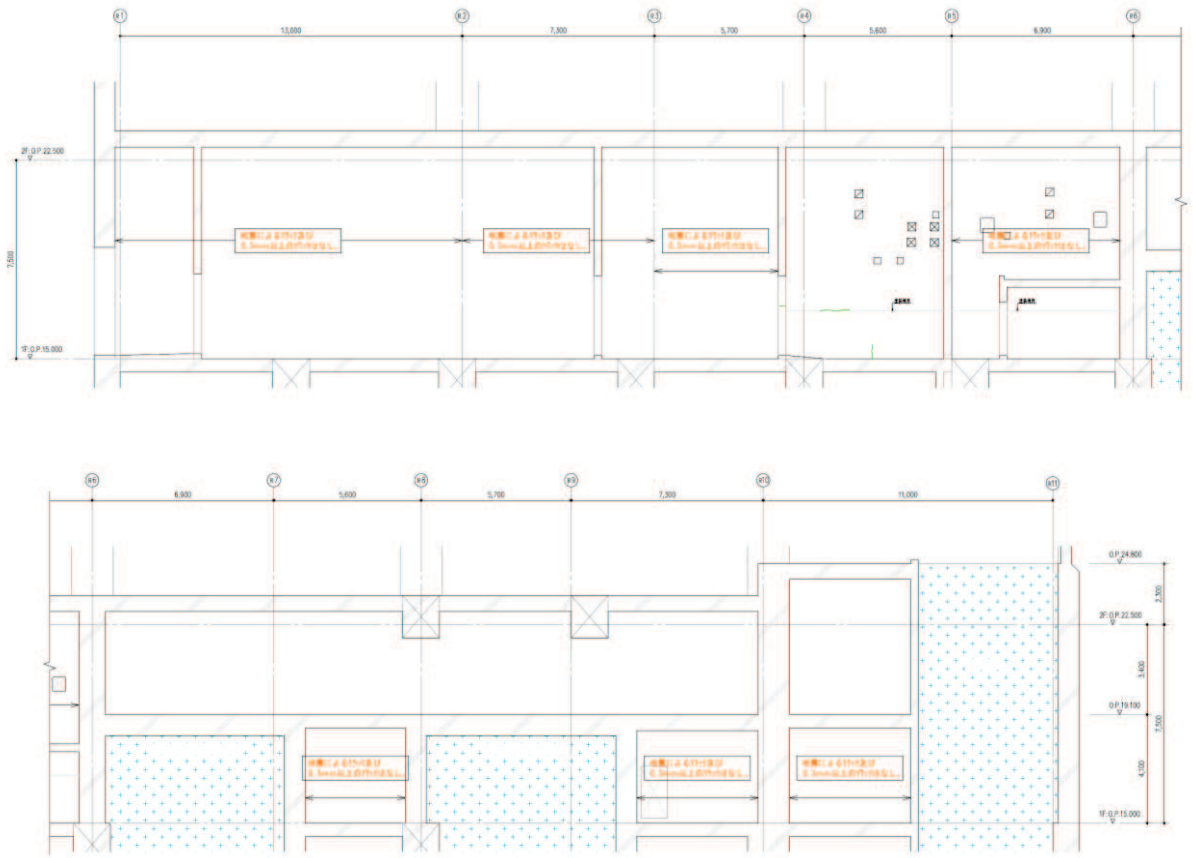


図 33 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (33) 地上 1 階 R11 通り



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	—		確認不能の範囲

図 34 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (34) 地上 1 階 RA 通り

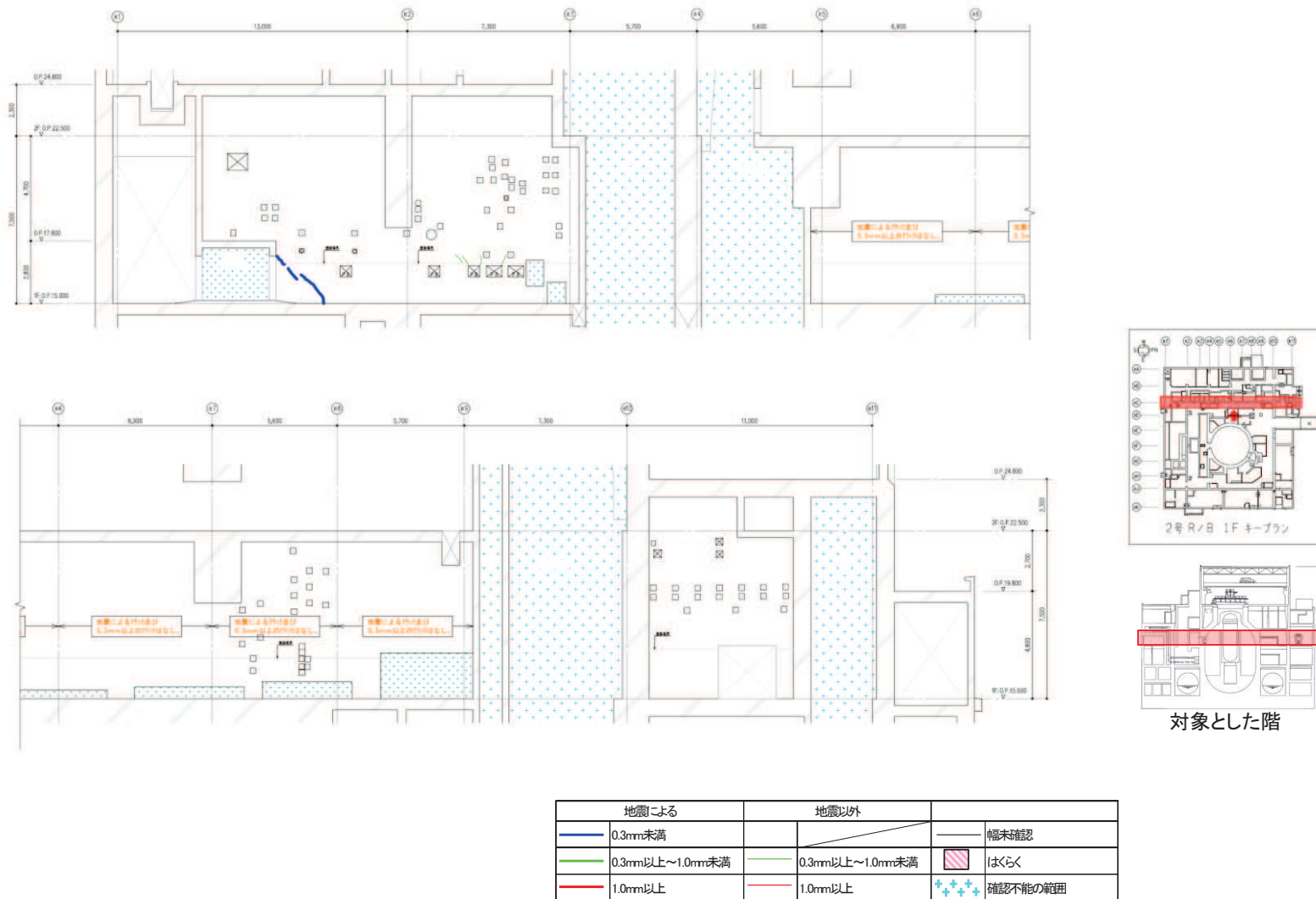
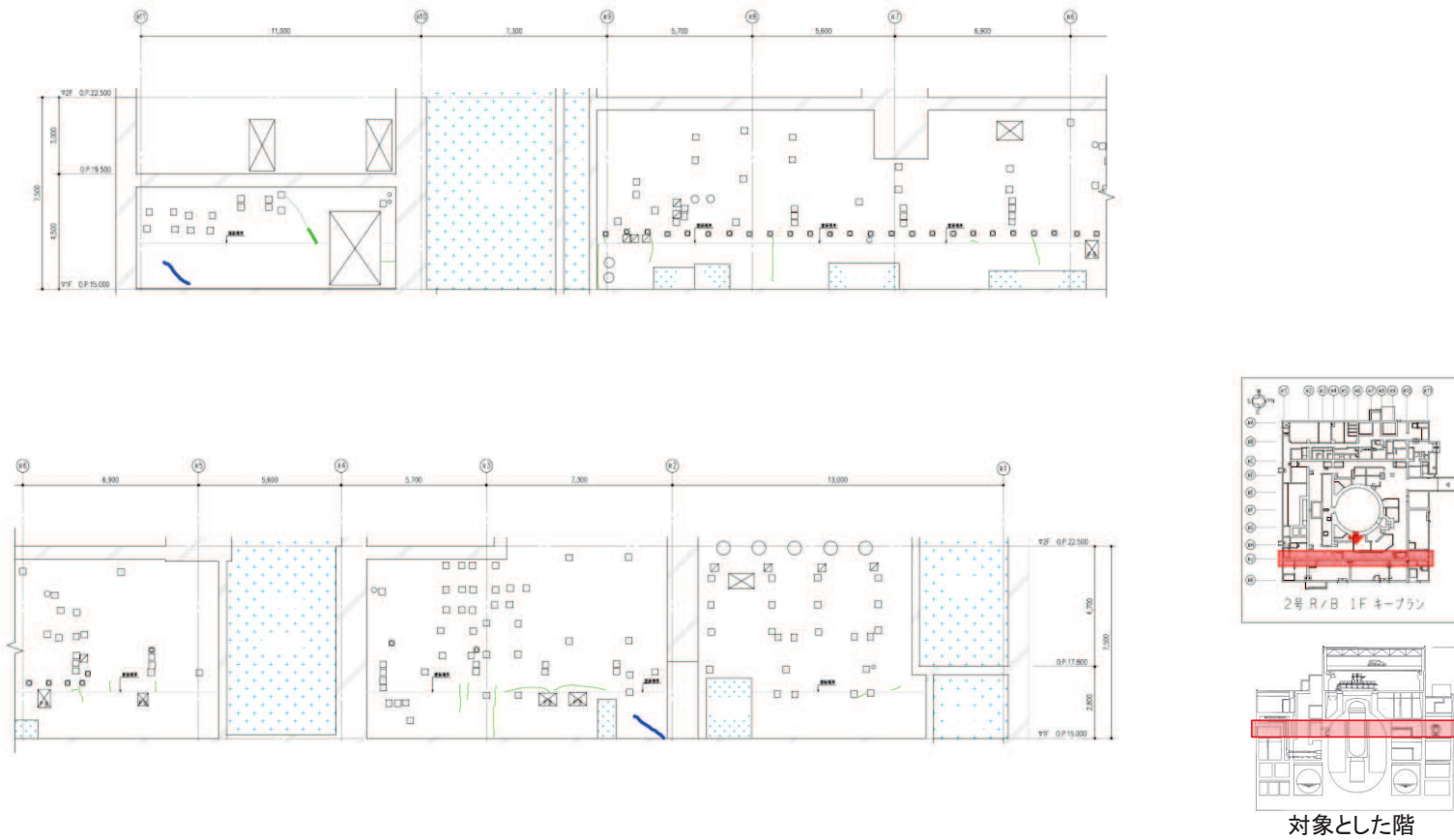
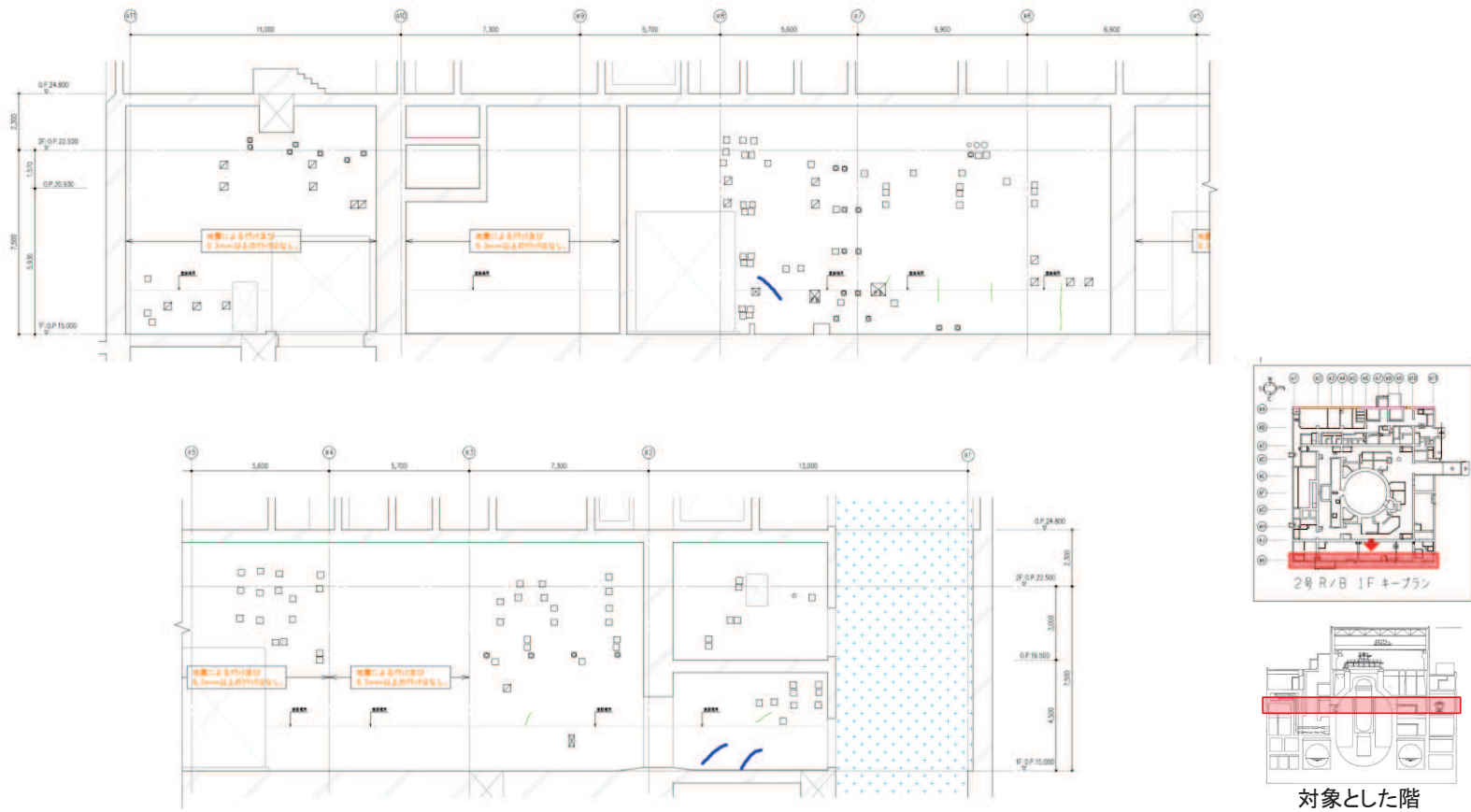


図 35 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (35) 地上 1 階 RC 通り



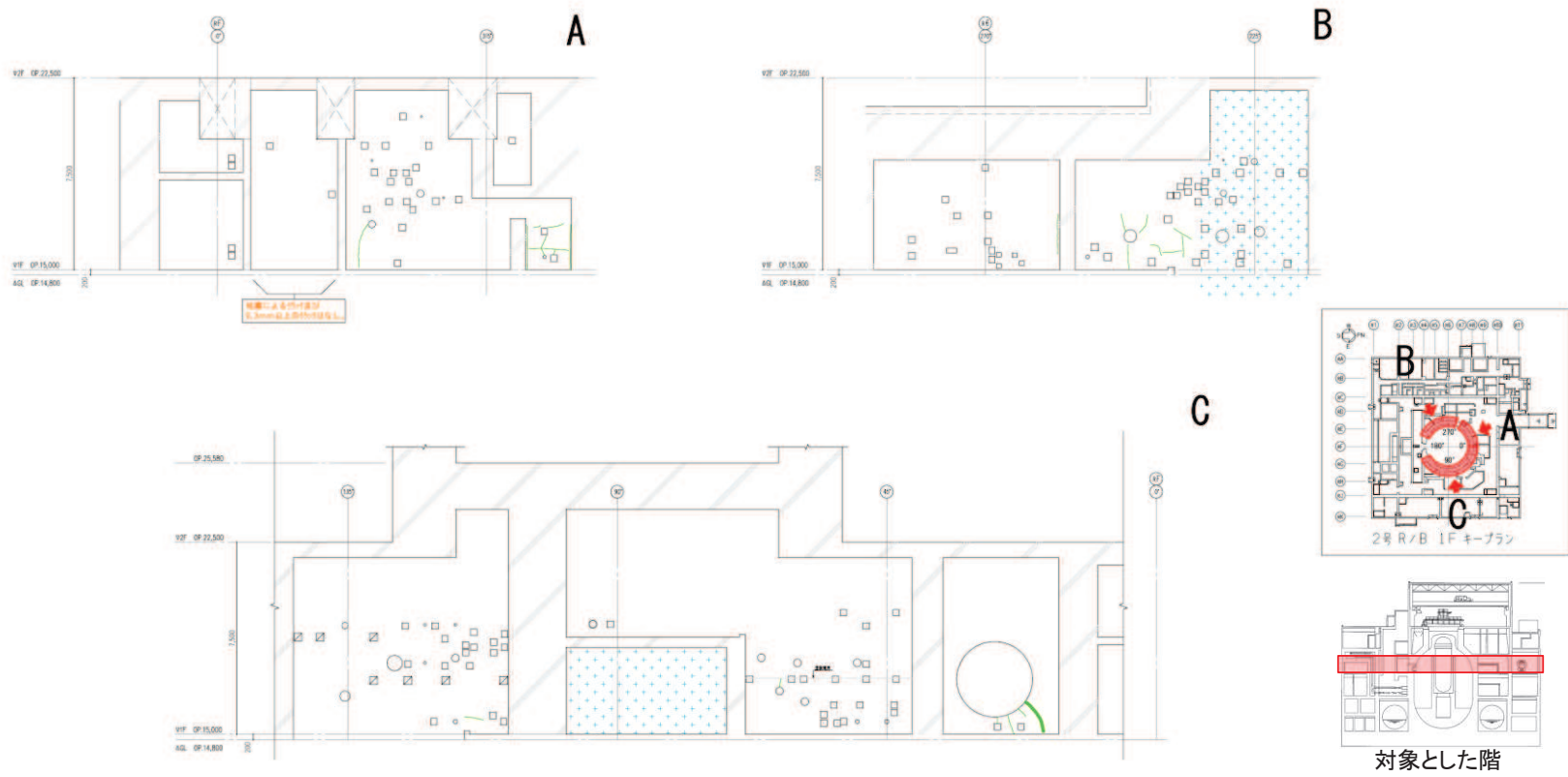
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 36 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (36) 地上1階 RJ 通り



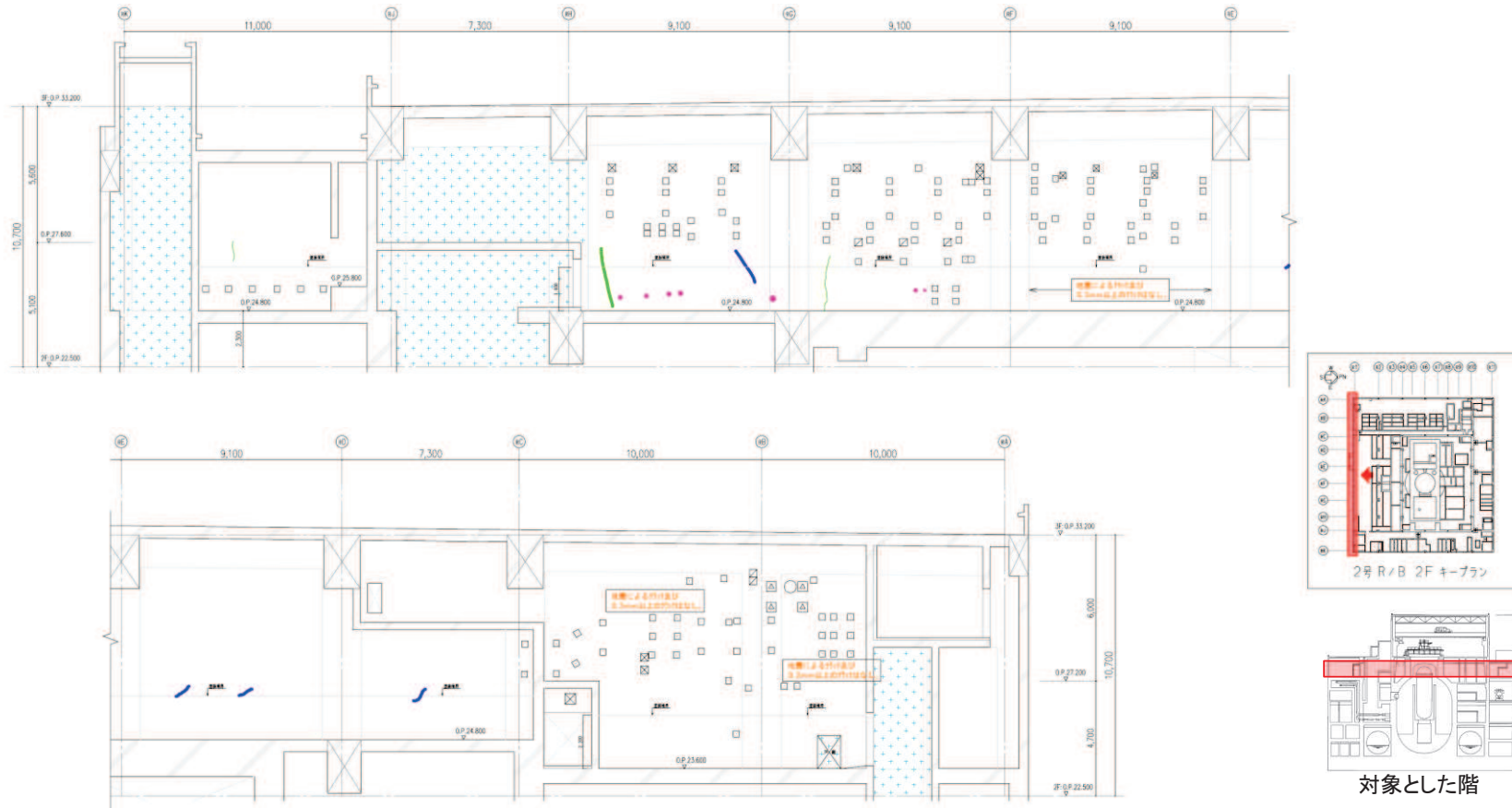
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上~1.0mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 37 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (37) 地上 1 階 RK 通り



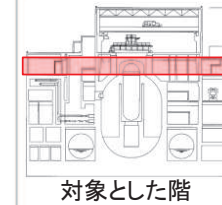
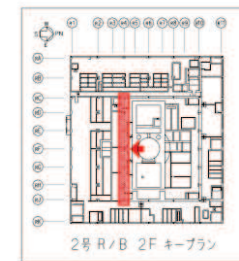
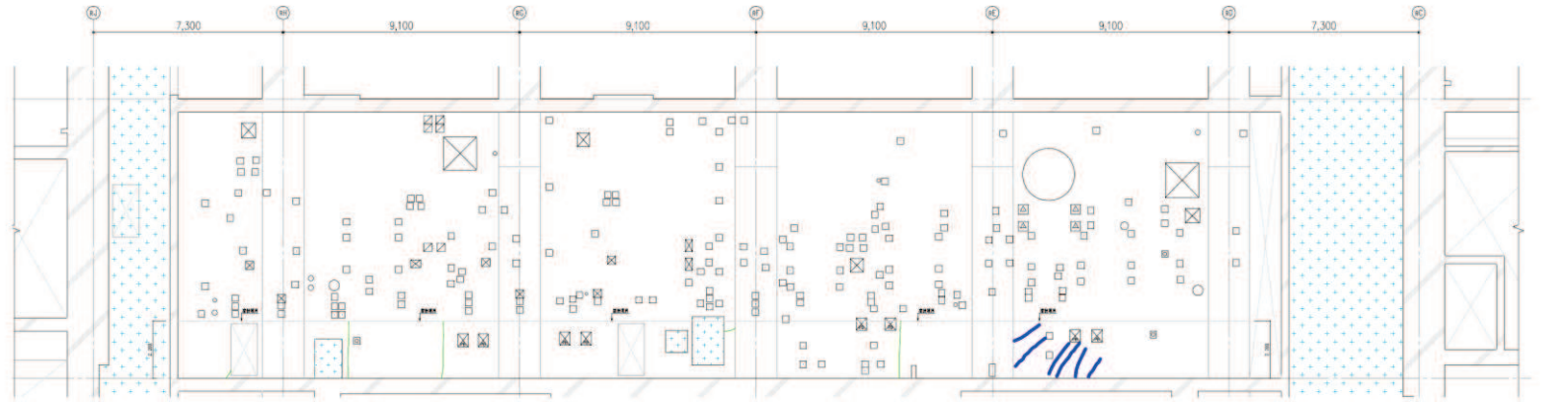
地震による		地震以外		
	0.3mm未満			幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満	はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上	++++ 確認不能の範囲

図 38 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (38) 地上 1 階 シェル壁



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+		確認不能の範囲

図 39 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (39) 地上 2 階 R1 通り











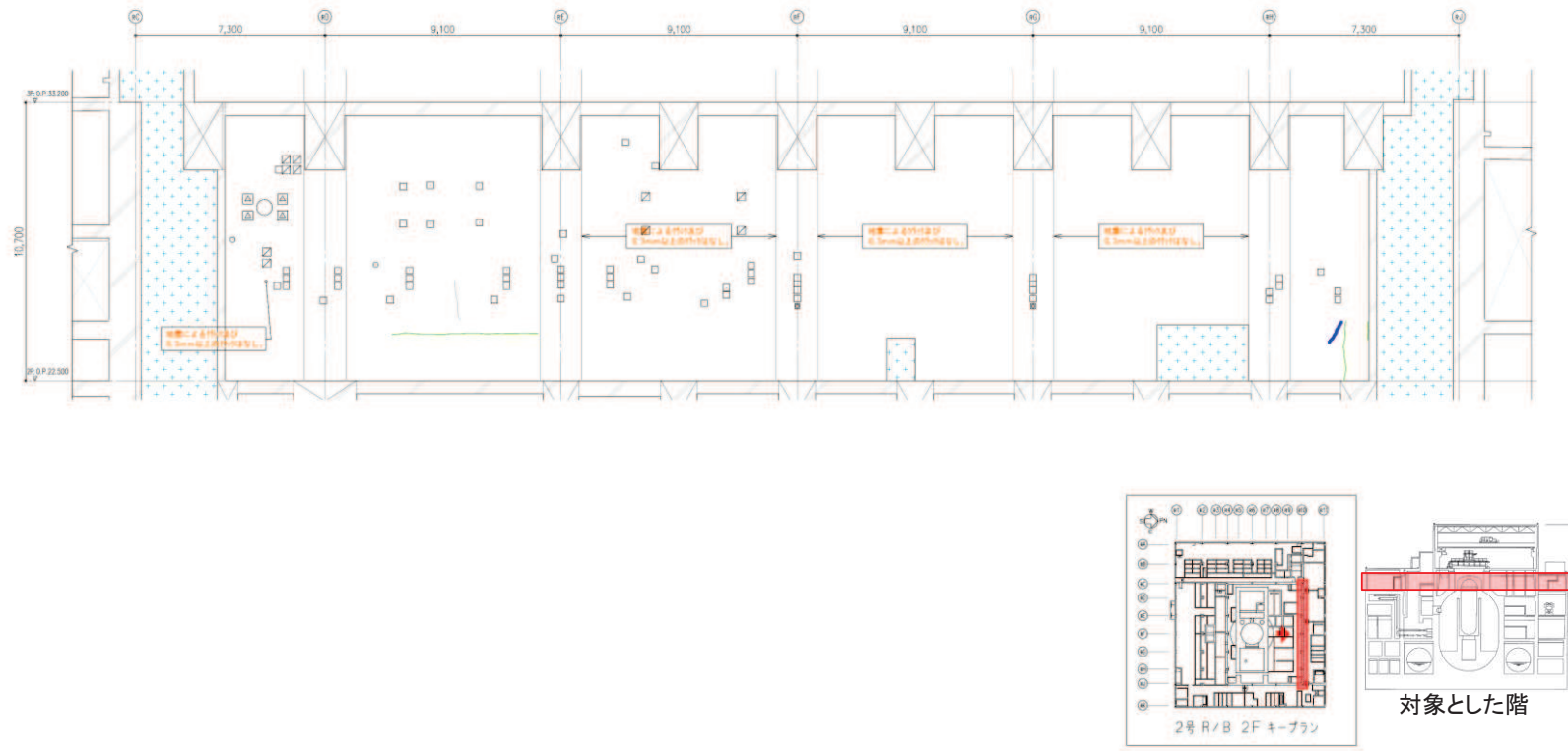
地震による		地震以外		
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	 幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上	 はくらく
	1.0mm以上			 確認不能の範囲

図 40 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (40) 地上 2 階 R4 通り



地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 41 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (41) 地上 2 階 R10 通り

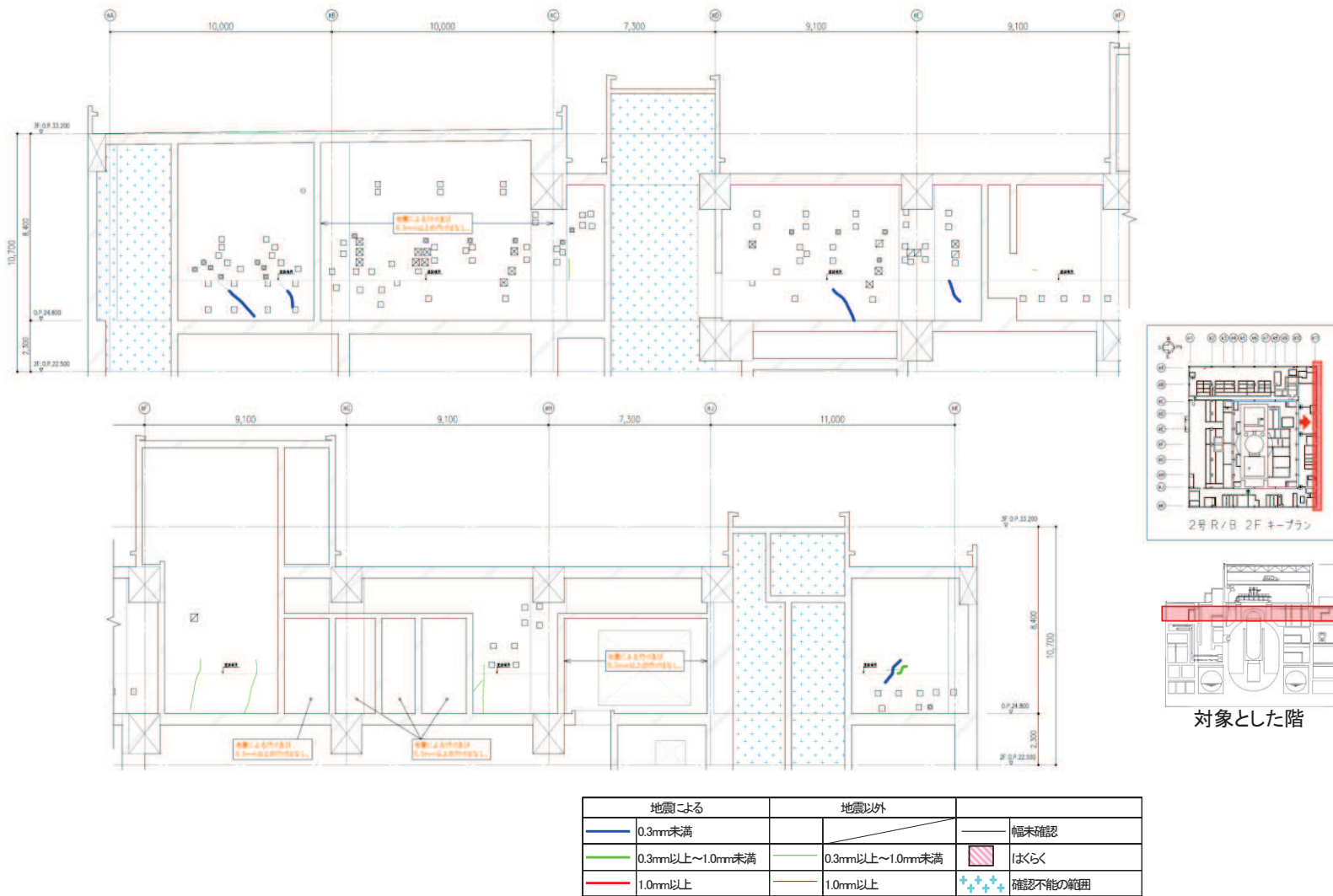
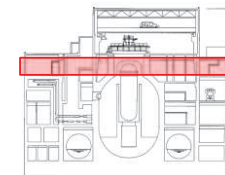
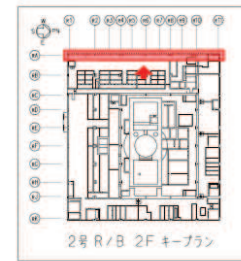
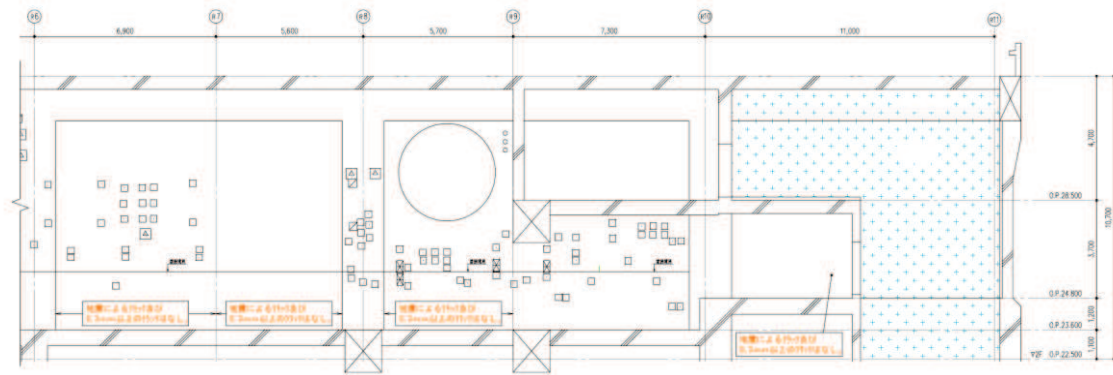
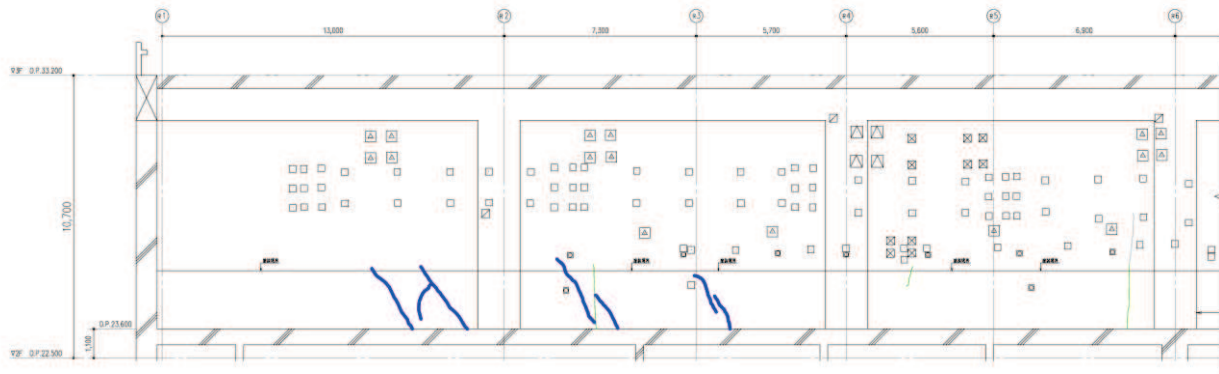


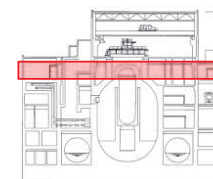
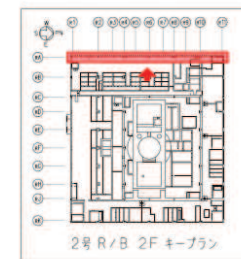
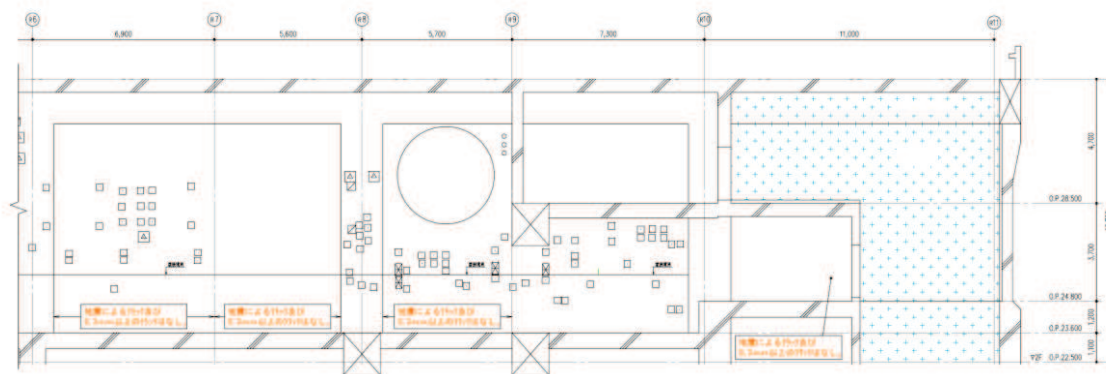
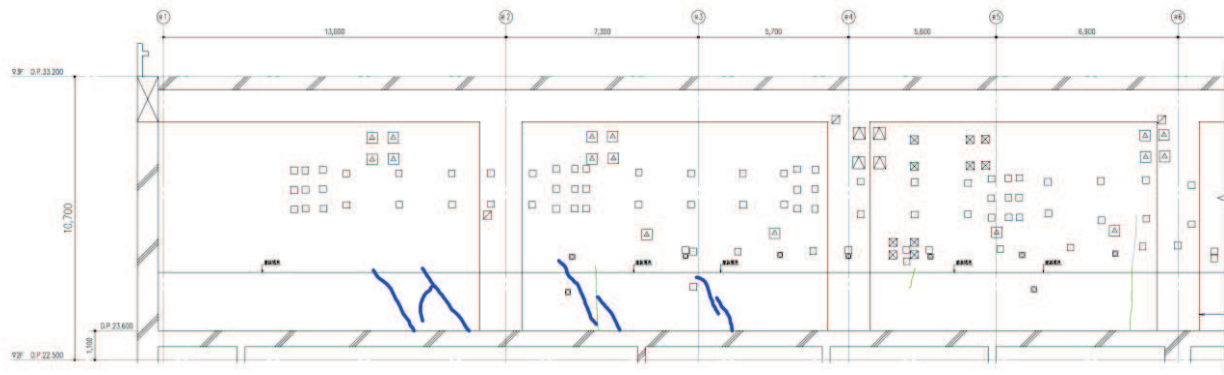
図 42 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (42) 地上 2 階 R11 通り



対象とした階

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 43 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (43) 地上 2 階 RA 通り



対象とした階

地震による		地震以外		
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上	はくらく
	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 44 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (44) 地上 2 階 RC 通り

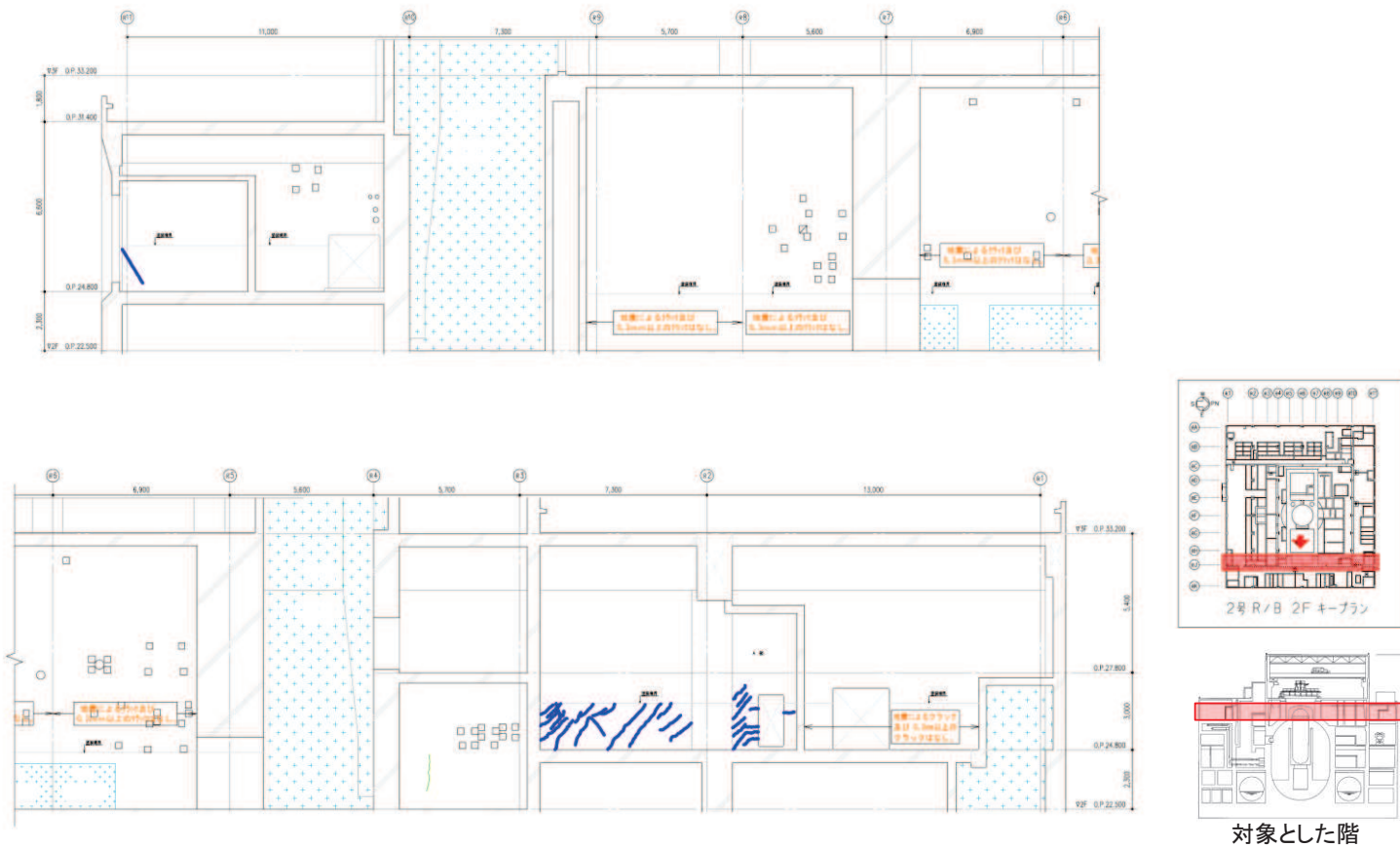
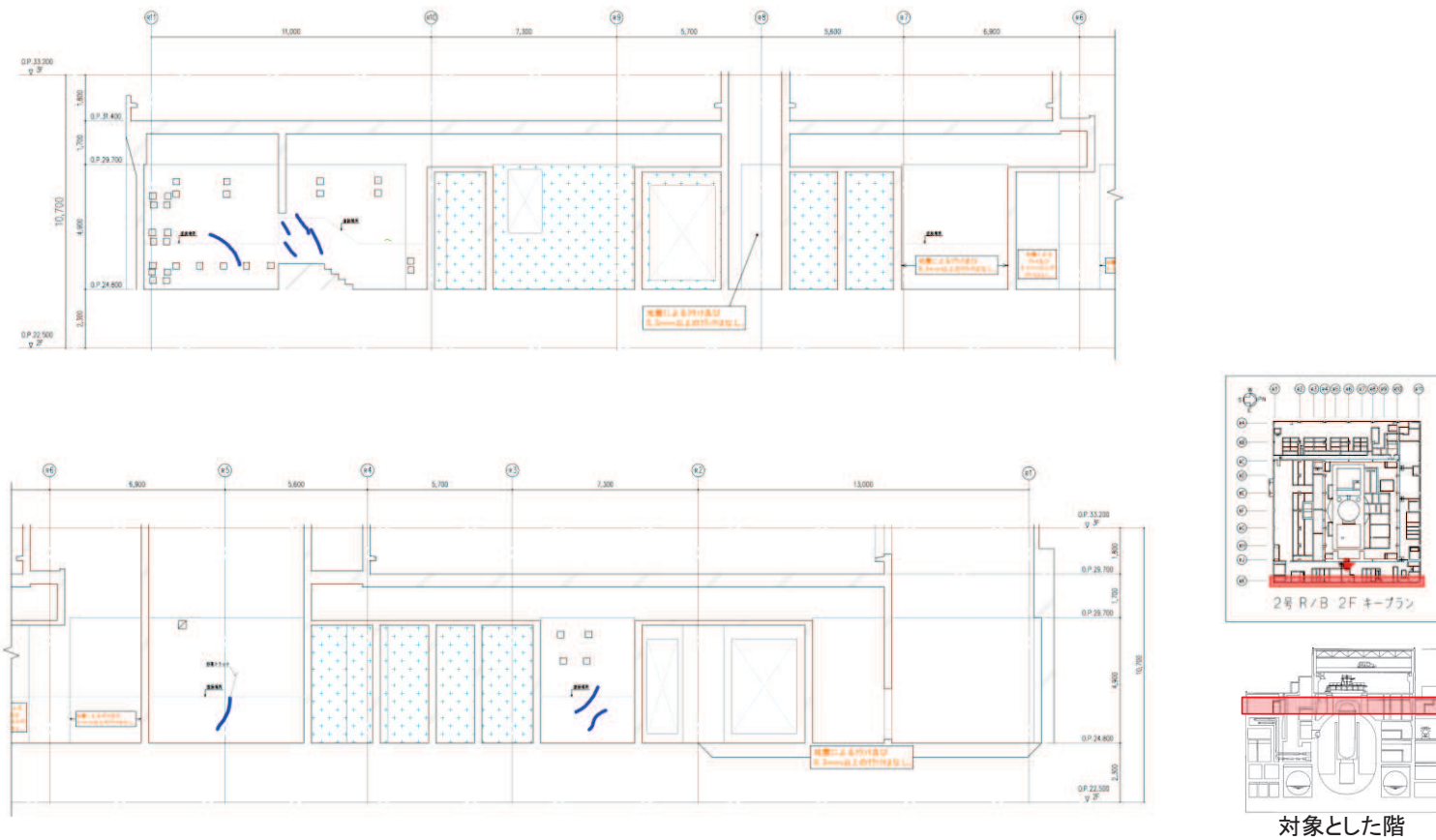
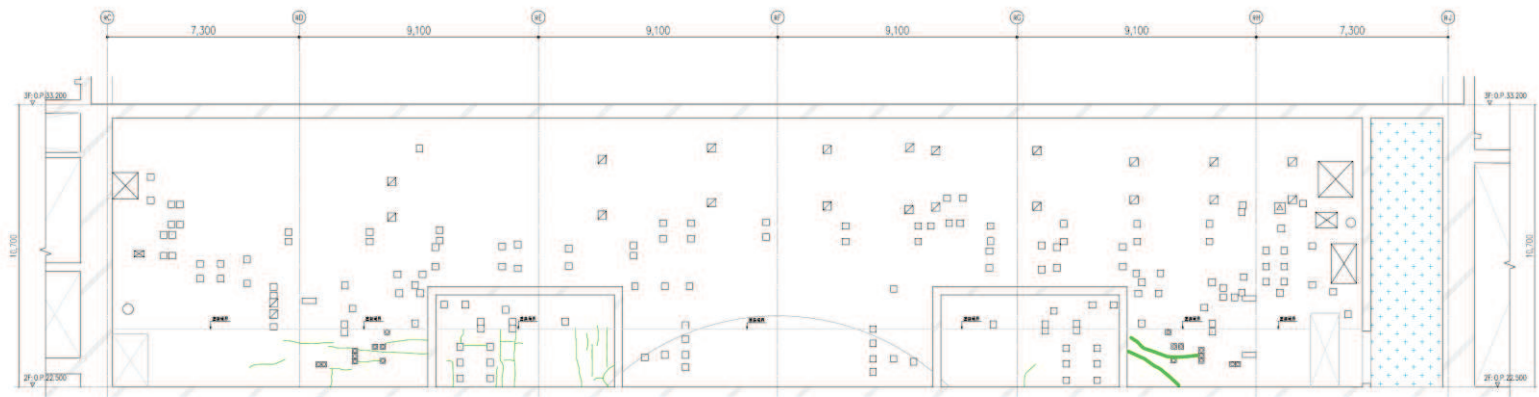


図 45 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (45) 地上 2 階 RJ 通り

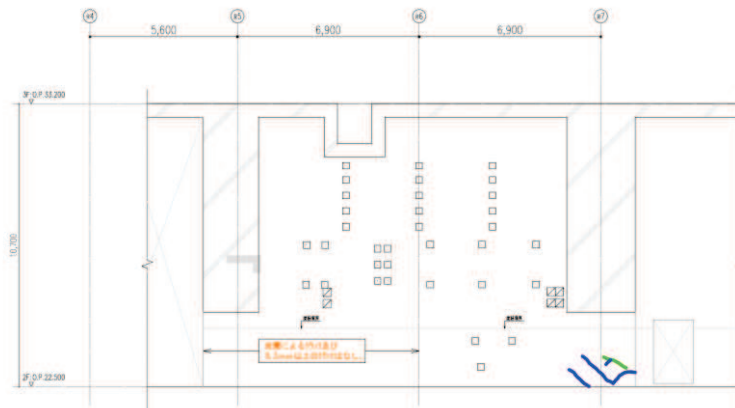


地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

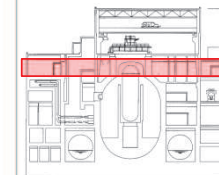
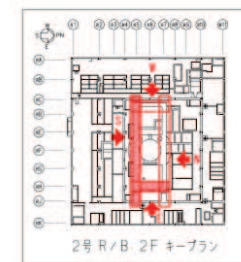
図 46 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (46) 地上 2 階 RK 通り



(南面 立面図)



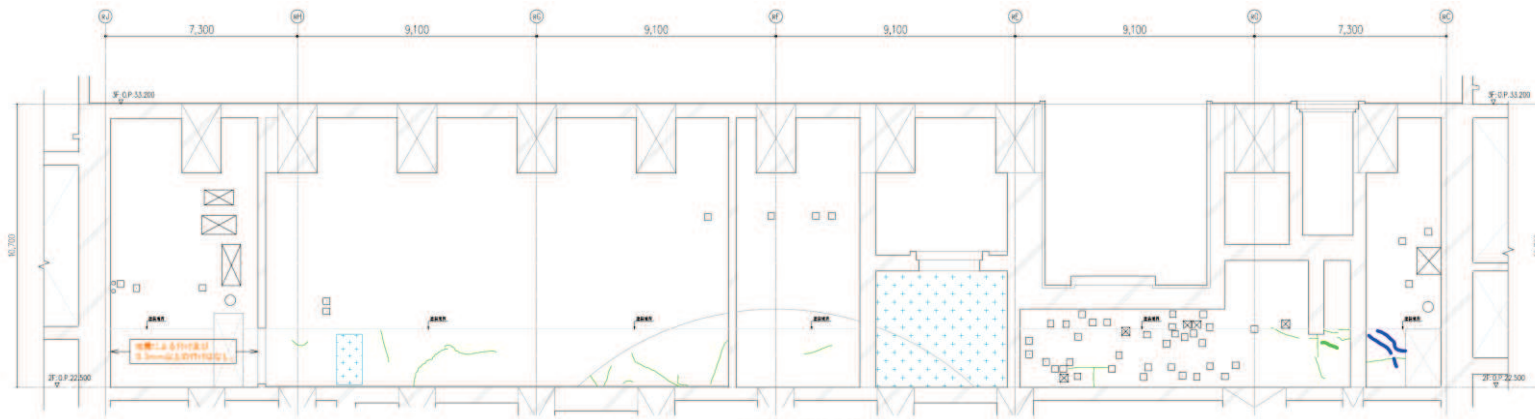
(東面 立面図)



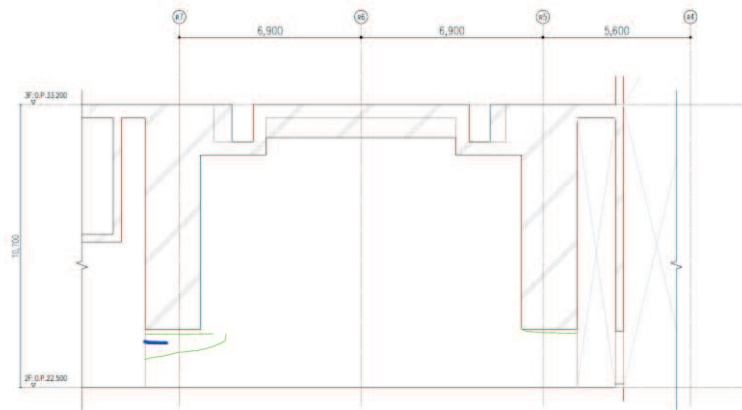
対象とした階

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

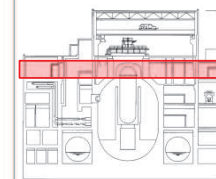
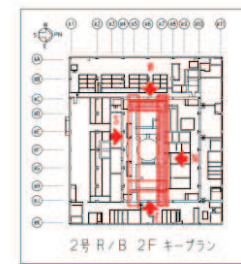
図 47 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (47) 地上 2 階 一部シェル壁 (1)



(北面 立面図)



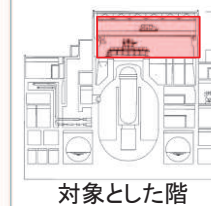
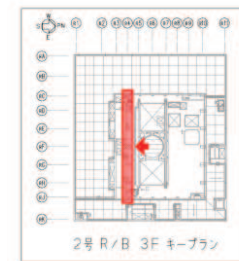
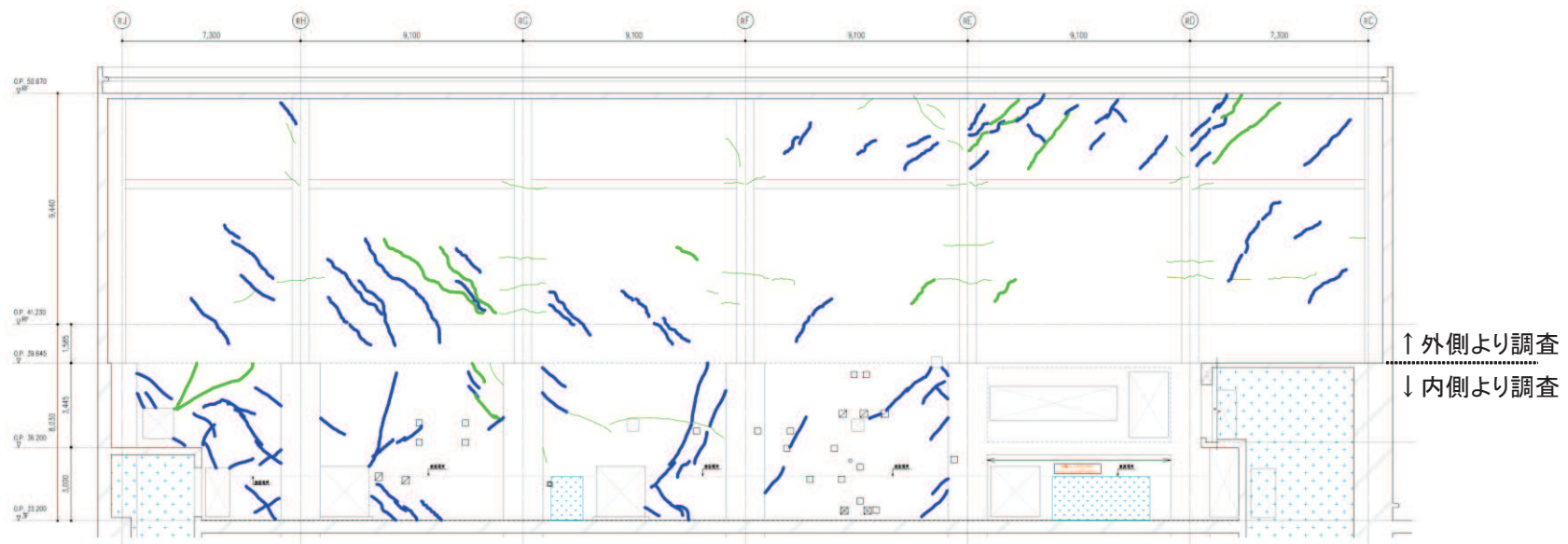
(西面 立面図)



対象とした階

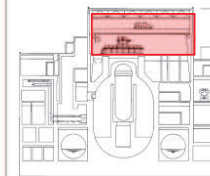
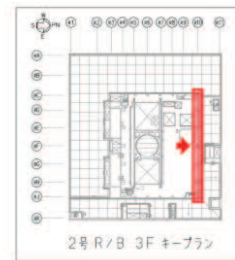
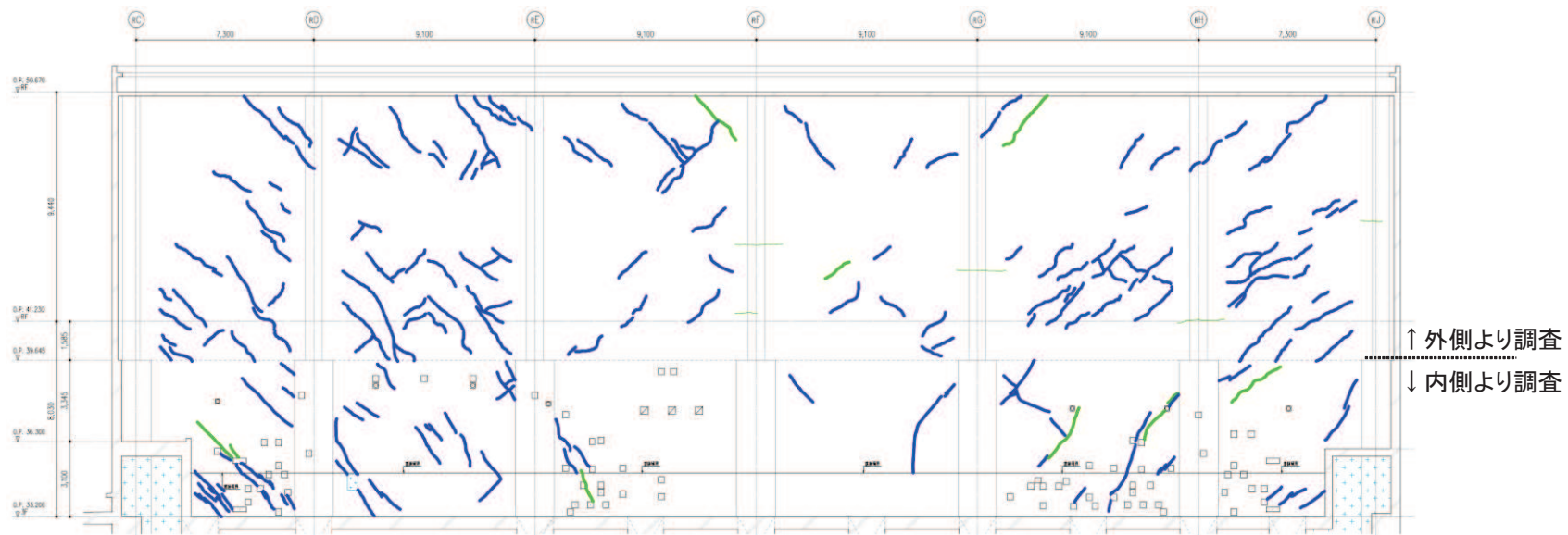
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上~1.0mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 48 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (48) 地上 2 階 一部シェル壁 (2)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認 はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

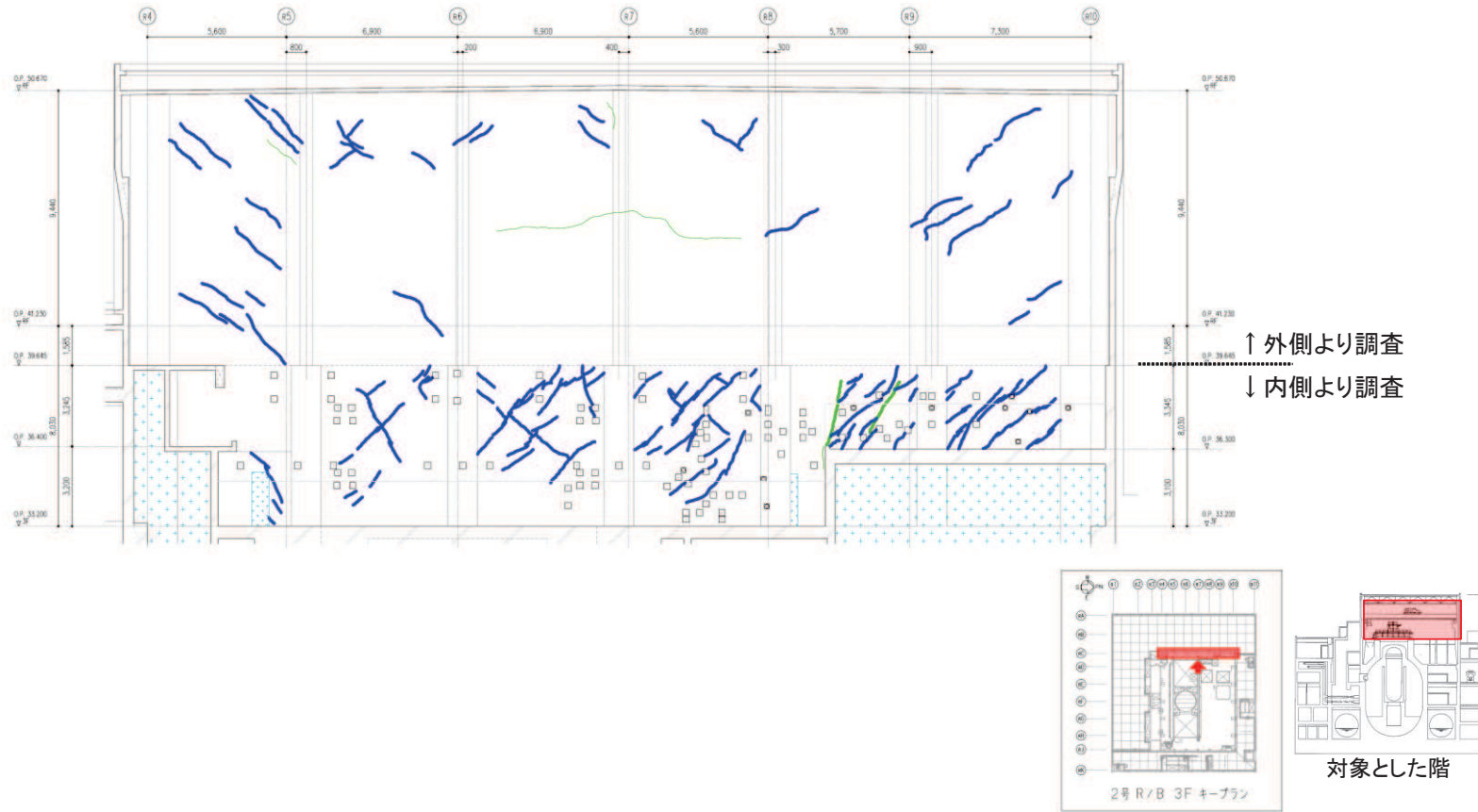
図 49 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (49) 地上 3 階 R4 通り



対象とした階

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 50 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (50) 地上 3 階 R10 通り



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上~1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上~1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+ + + +		確認不能の範囲

図 51 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (51) 地上 3 階 RC 通り

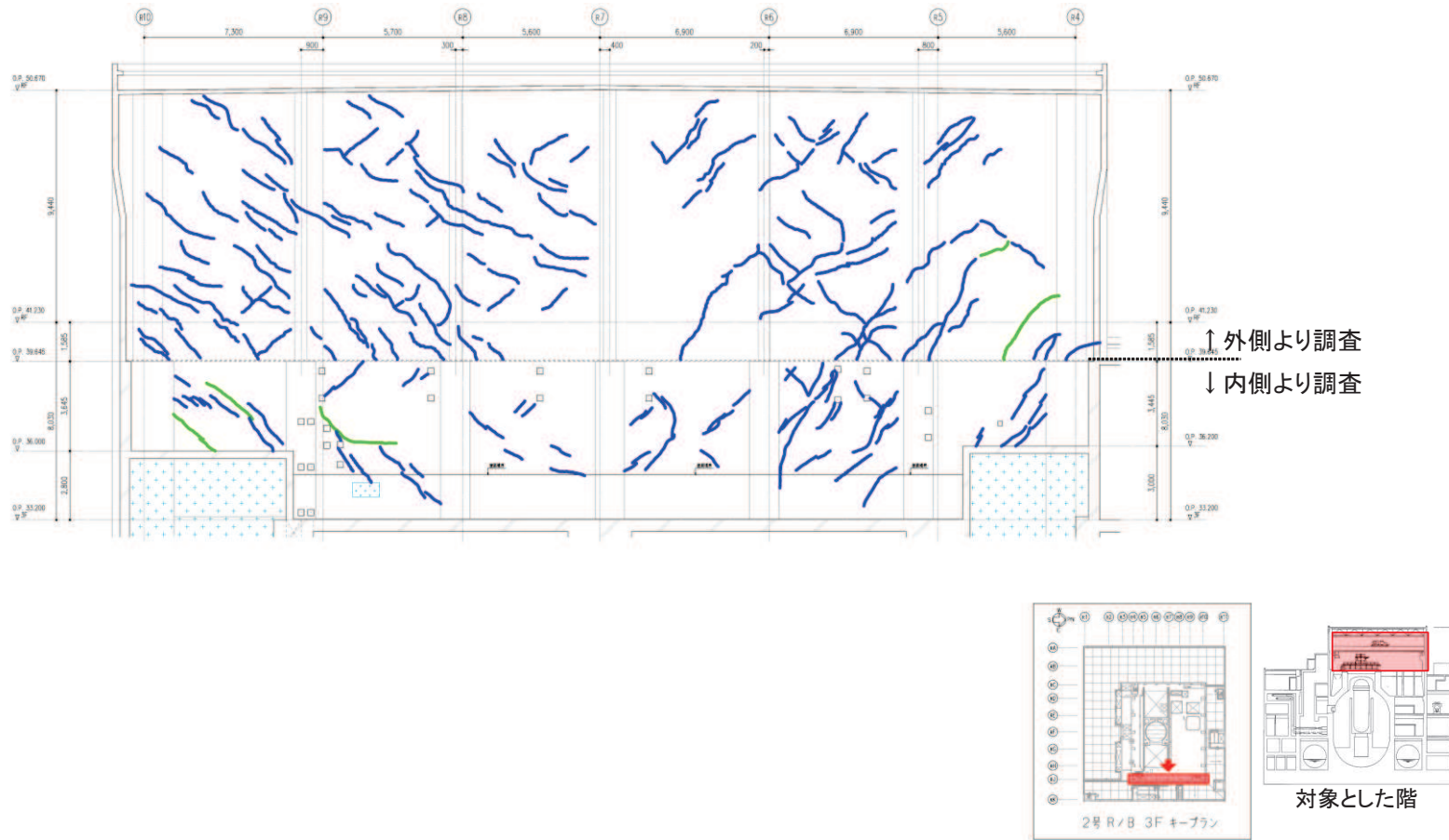
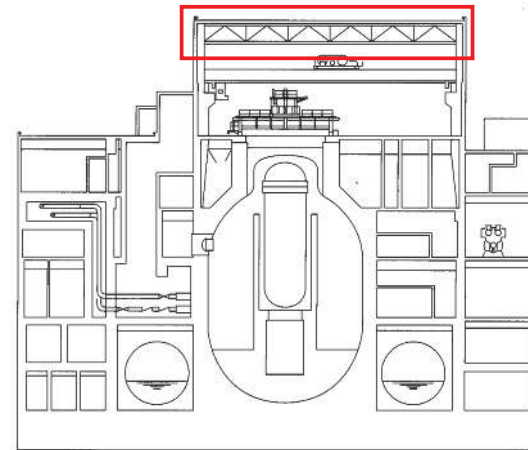
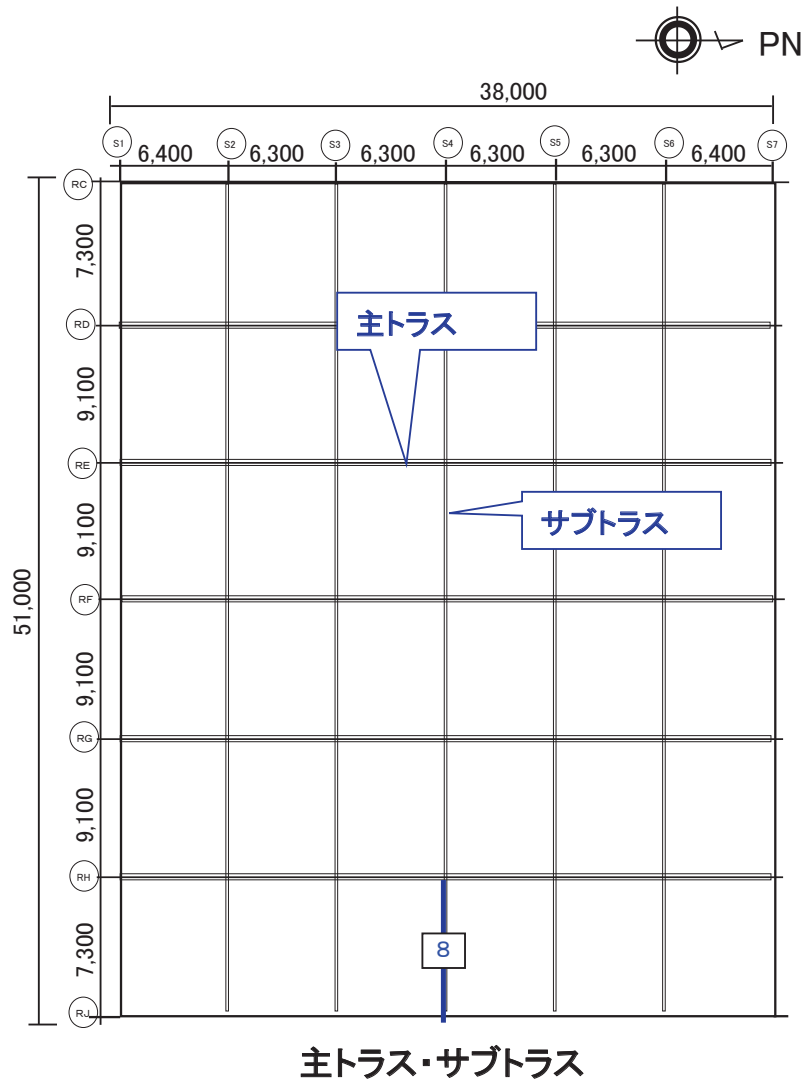


図 52 原子炉建屋のひび割れ分布 耐震壁 (52) 地上 3 階 RJ 通り

別紙 3-2 原子炉建屋屋根トラスの点検結果

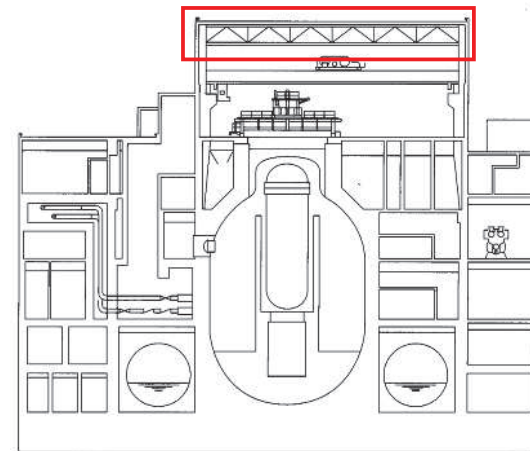
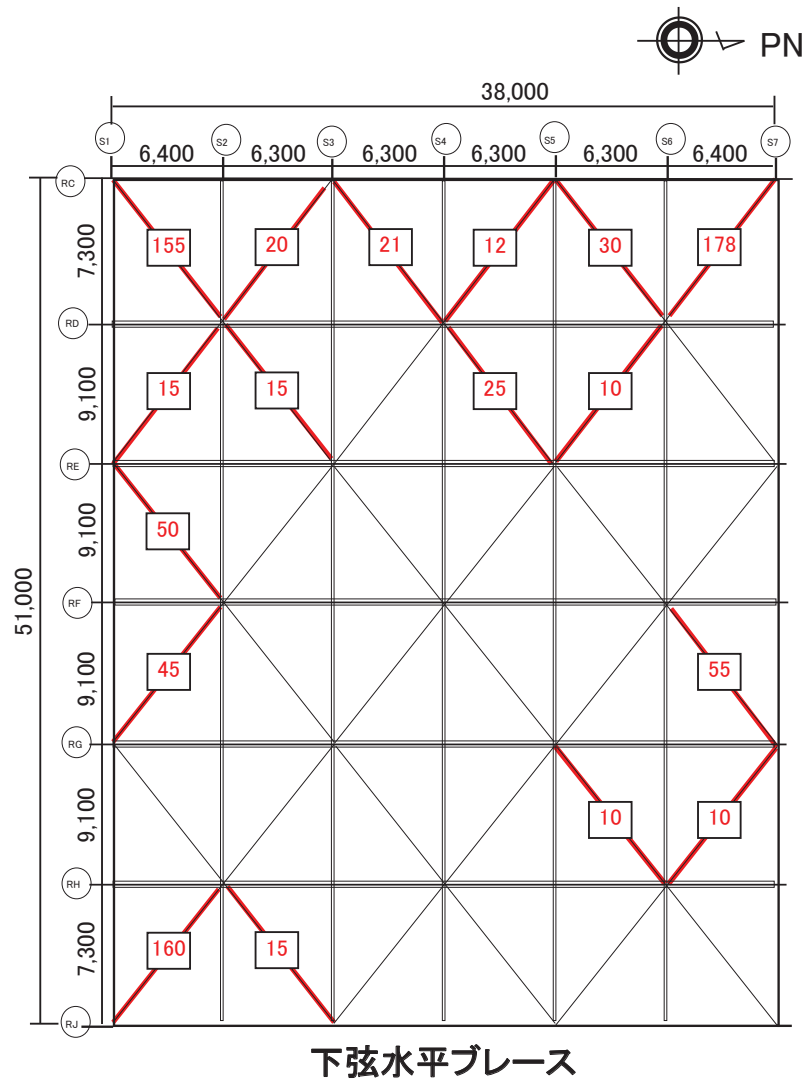


断面図(NS方向)

- : サブトラス変形箇所(ただし、目安とした10mm未満の変形)
- : 部材変形量(mm)

主トラス・サブトラス

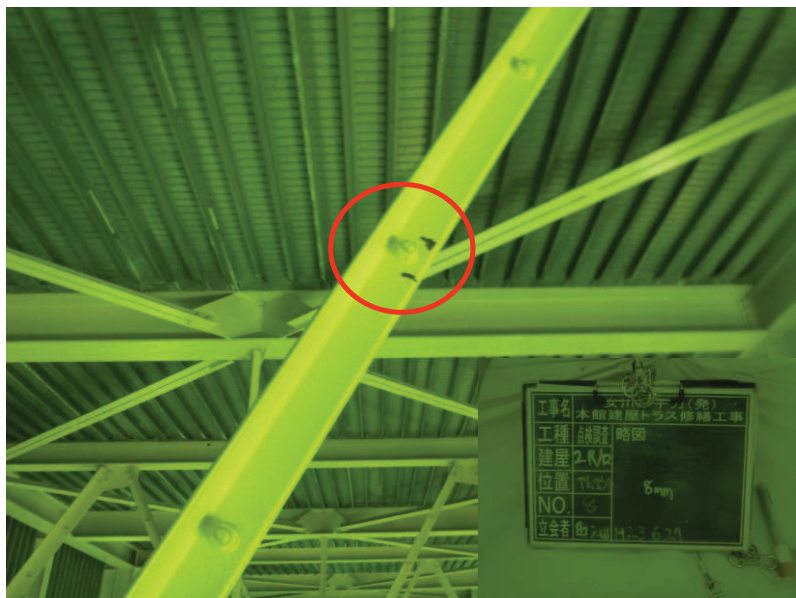
図1 原子炉建屋屋根トラスの点検結果 構造部材の変形量



断面図(NS方向)

- : 下弦水平ブレース変形箇所
- : 部材変形量(mm)

図2 原子炉建屋屋根トラスの点検結果 仮設部材の変形量



サブトラス(構造部材) 斜材 8mm変形



下弦水平ブレース(仮設部材) 160mm変形

図3 原子炉建屋屋根トラスの点検結果の例 変形状況 (写真)

別紙 4 東北地方太平洋沖地震等に対する構造的影響評価
(追加評価に係る点検結果)

目 次

1. 追加評価に係る点検項目..... 別紙 4-1
2. オペフロ上部の柱の点検結果..... 別紙 4-2
3. シェル壁（ベント管開口部周り）の点検結果..... 別紙 4-2
4. 基礎版の点検結果..... 別紙 4-3
5. まとめ..... 別紙 4-5

別紙 4-1 オペフロ上部の柱の点検結果

別紙 4-2 シェル壁（ベント管開口部周り）の点検結果

別紙 4-3 基礎版の点検結果

1. 追加評価に係る点検項目

3.11 地震の影響に関し、建屋の構造的影響評価に関する点検は、耐震壁を対象として実施しているが、原子炉建屋の3次元FEM等価線形解析の結果も踏まえ、追加評価に係る点検結果をとりまとめた。具体的には、以下の3つの点検についてとりまとめた。

① オペフロ上部の柱

フレーム部材は基本的には耐震壁の変形に追従する部材として設計しており、地震力を負担していない。また、3次元FEM等価線形解析結果でもオペフロ下部では特に大きなひずみは得られていない。

そこで、代表的に、変形の大きいオペフロ上部の柱について点検結果をとりまとめた。追加点検の判断の目安は表1-1に示すとおりである。

② シェル壁（ベント管開口部周り）

耐震壁の点検は、ひび割れの分布の特徴等も踏まえ耐震壁の下部を中心に実施しているが、耐震壁の上部に位置するベント管開口部周りでは3次元FEM等価線形解析結果がひび割れ発生の目安値相当となっていることから、念のため点検を行った。

③ 基礎版

基礎版の設計では上部構造物からの地震荷重を考慮した設計としている。3次元FEM等価線形解析結果では、健全と確認されたが、念のため点検を行った。

表1-1 点検・評価計画書（建物・構築物編）の「判定基準例一覧」

点検対象	判定基準
生体遮へい装置	・遮へい性能に影響を与える断面欠損がないこと
原子炉格納施設	・構造上問題となるひび割れがないこと (幅1.0mm以上のひび割れがないこと*1) ・構造上問題となる剥離・剥落がないこと

注記*1: EPRI NP-6695 Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake における以下の記載等を参考に設定。

① 幅 0.06 インチ (約 1.5mm) を超えて新しく地震によって生じたひび割れ、コンクリートの剥離、目視で確認できるフレームの変形を重大な損傷とする。(0.06 インチ以上のコンクリートひび割れは鉄筋の降伏を示している)

② コンクリート構造物のわずかなヘアークラックのような微細なひび割れは重要な被害ではない。

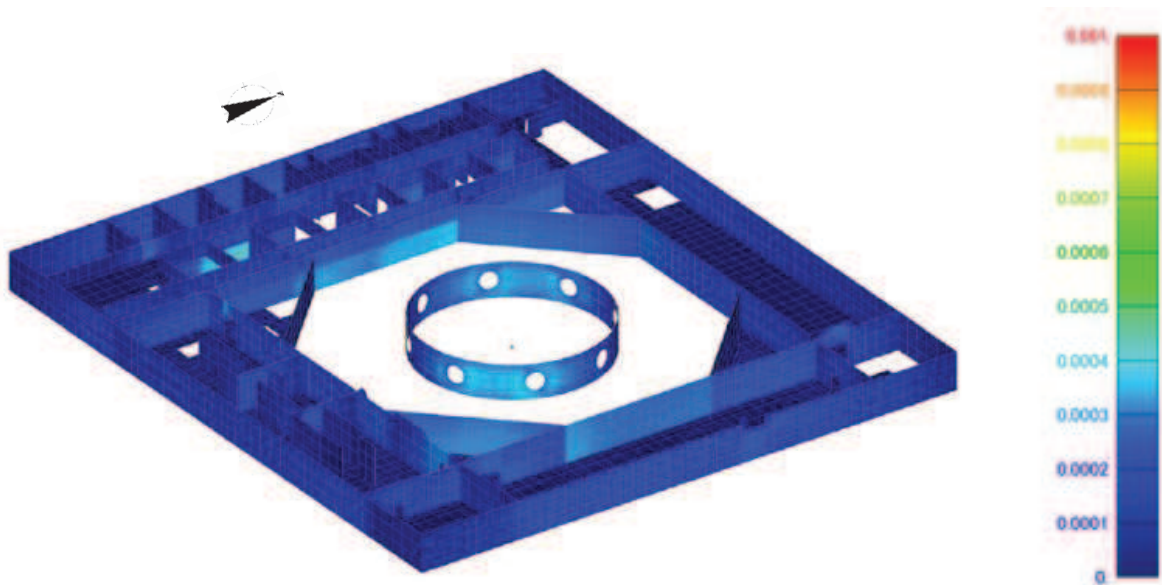
2. オペフロ上部の柱の点検結果

地震により発生したひび割れは確認されなかった。

ひび割れ調査結果を別紙 4-1 に示す。

3. シェル壁（ベント管開口部周り）の点検結果

耐震壁の点検は、ひび割れの分布の特徴等も踏まえ耐震壁の下部を中心に実施しているが、耐震壁の上部に位置するベント管開口部周りでは以下に示す 3 次元 FEM モデルによるせん断ひずみがひび割れ発生の目安値相当となっていることから、念のため点検を行った。3 次元 FEM モデルによる解析結果を図 3-1 に、点検結果を別紙 4-2 に示す。



南東面

原子炉建屋 地下 2 階 (O.P. -800)

図 3-1 建屋全体 3 次元 FEM モデルによるせん断ひずみ分布

4. 基礎版の点検結果

建屋全体の 3 次元 FEM 等価線形解析結果について、面内せん断ひずみを図 4-1 に、面外せん断応力度を図 4-2 に示す。耐震壁付近で若干大きい値を示すが、全体的にひび割れが入る目安値以下となっている。解析的検討から基礎版の健全性については問題無いと判断したが、念のため点検を行った。点検結果を別紙 4-3 に示す。点検結果から次のことが分かる。

- ① 幅 0.3mm 以上のひび割れには分布に偏りがある。ひび割れが認められない箇所は、3.11 地震前に補修を実施した箇所である。
- ② ひび割れ分布は 3 次元 FEM 等価線形解析結果の傾向とも整合していない。

以上のことから、基礎版に認められるひび割れは乾燥収縮等によるひび割れであり、地震によるひび割れではないと判断した。

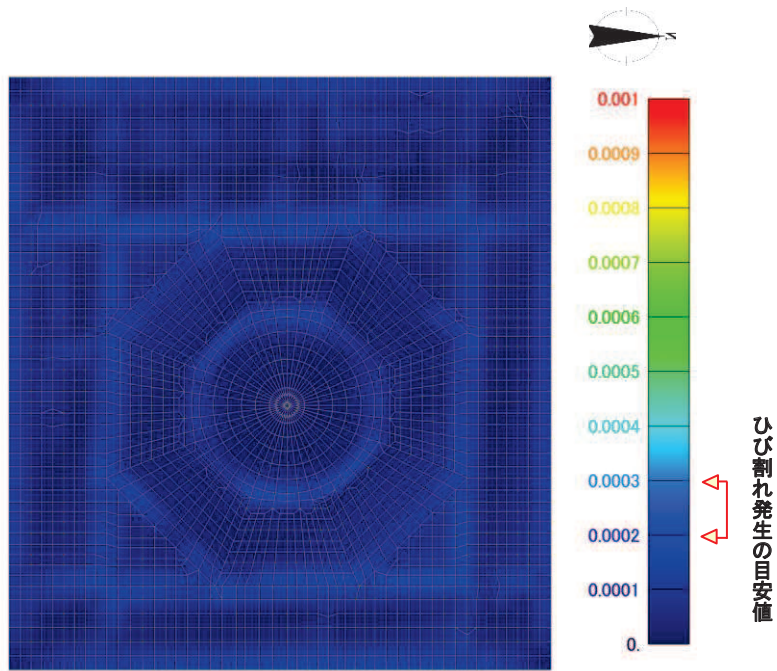


図 4-1 面内せん断ひずみコンター図 地下 3 階
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

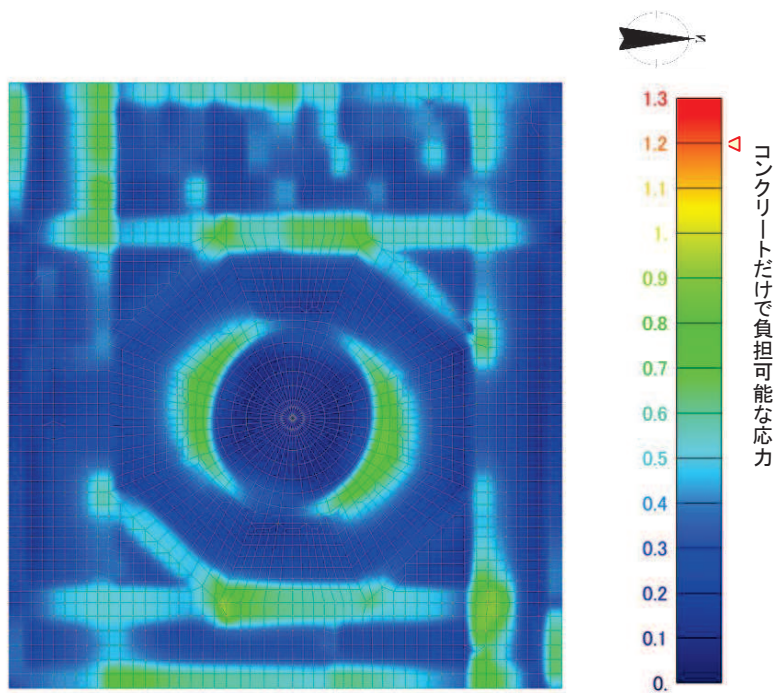


図 4-2 面外せん断応力度コンター図 地下 3 階
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

5. まとめ

3.11 地震による建屋の構造的影響評価に関する点検は耐震壁を対象として実施しているが、原子炉建屋の3次元FEM等価線形解析の結果も踏まえ、追加評価に係る点検結果をとりまとめた。

具体的には、オペフロ上部の柱、シェル壁（ベント管開口部周り）、基礎版のひび割れ点検を行った結果、地震によって発生したと思われるひび割れは認められなかった。

別紙 4-1 オペフロ上部の柱の点検結果

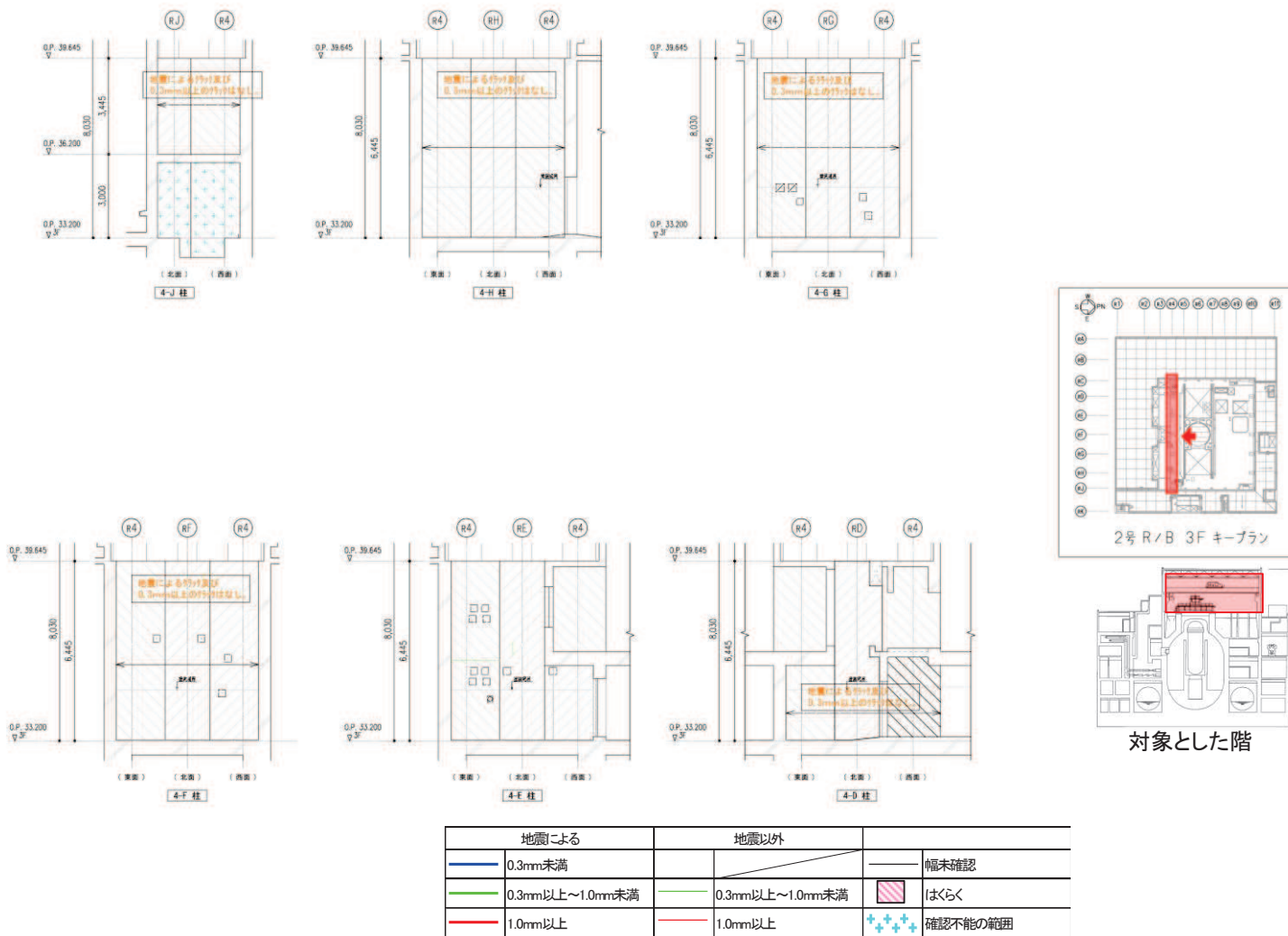
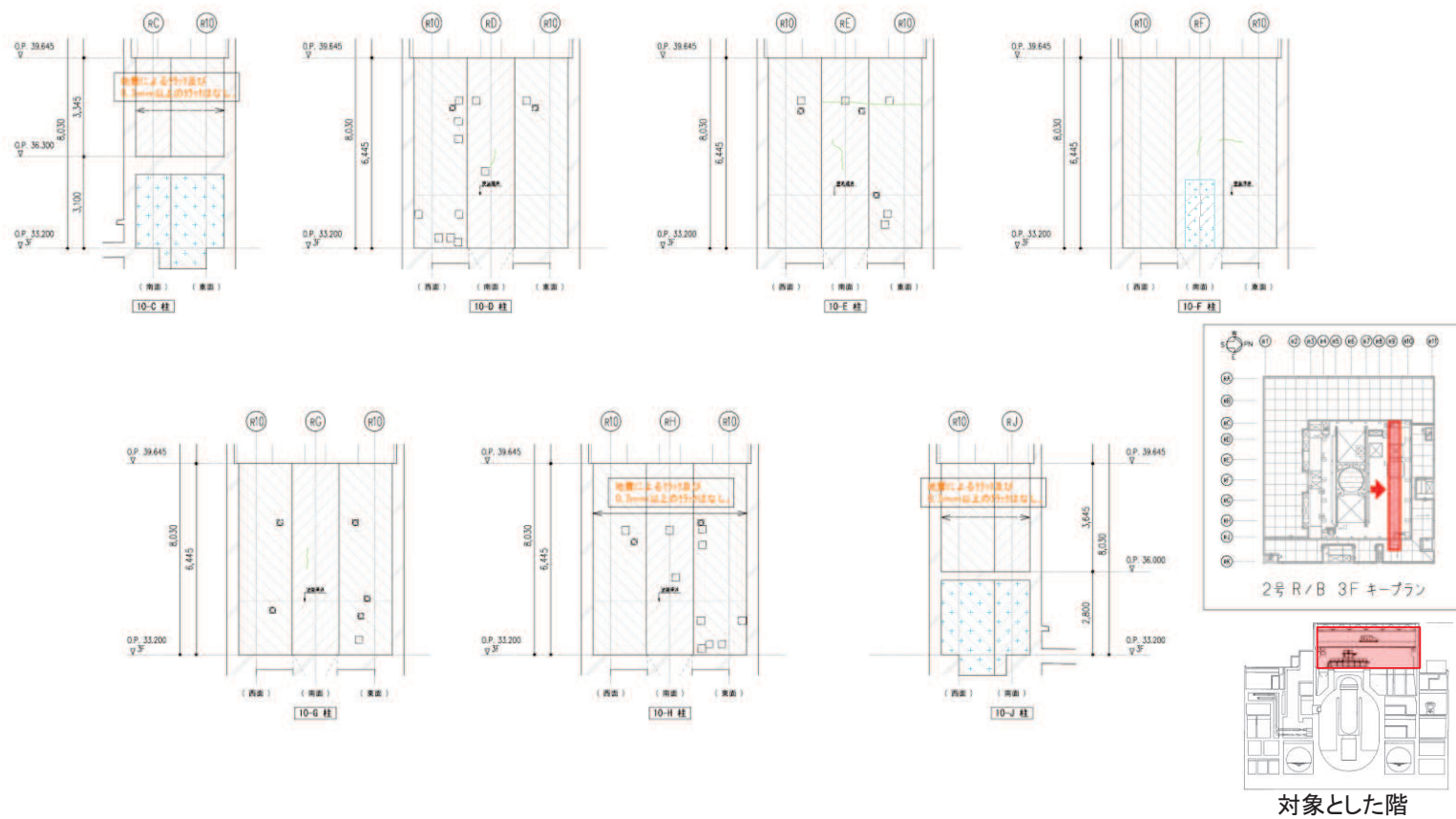


図1 オペフロ上部の柱の点検結果（地上3階）（1）



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+		確認不能の範囲

図2 オペフロ上部の柱の点検結果（地上3階）（2）

別紙 4-2 シェル壁（ベント管開口部周り）の点検結果

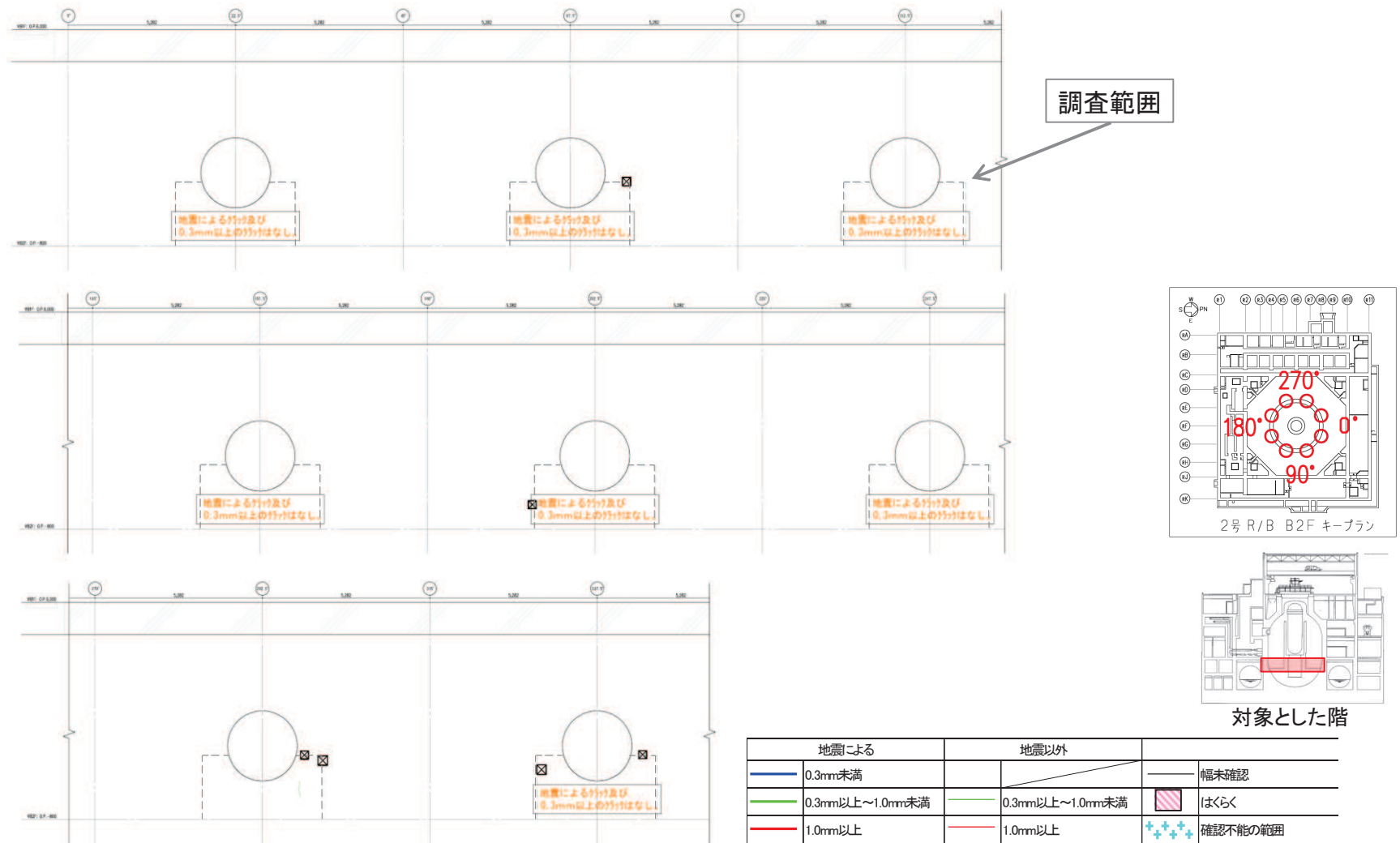


図1 シェル壁（ベント管開口部周り）の点検結果

別紙 4-3 基礎版の点検結果

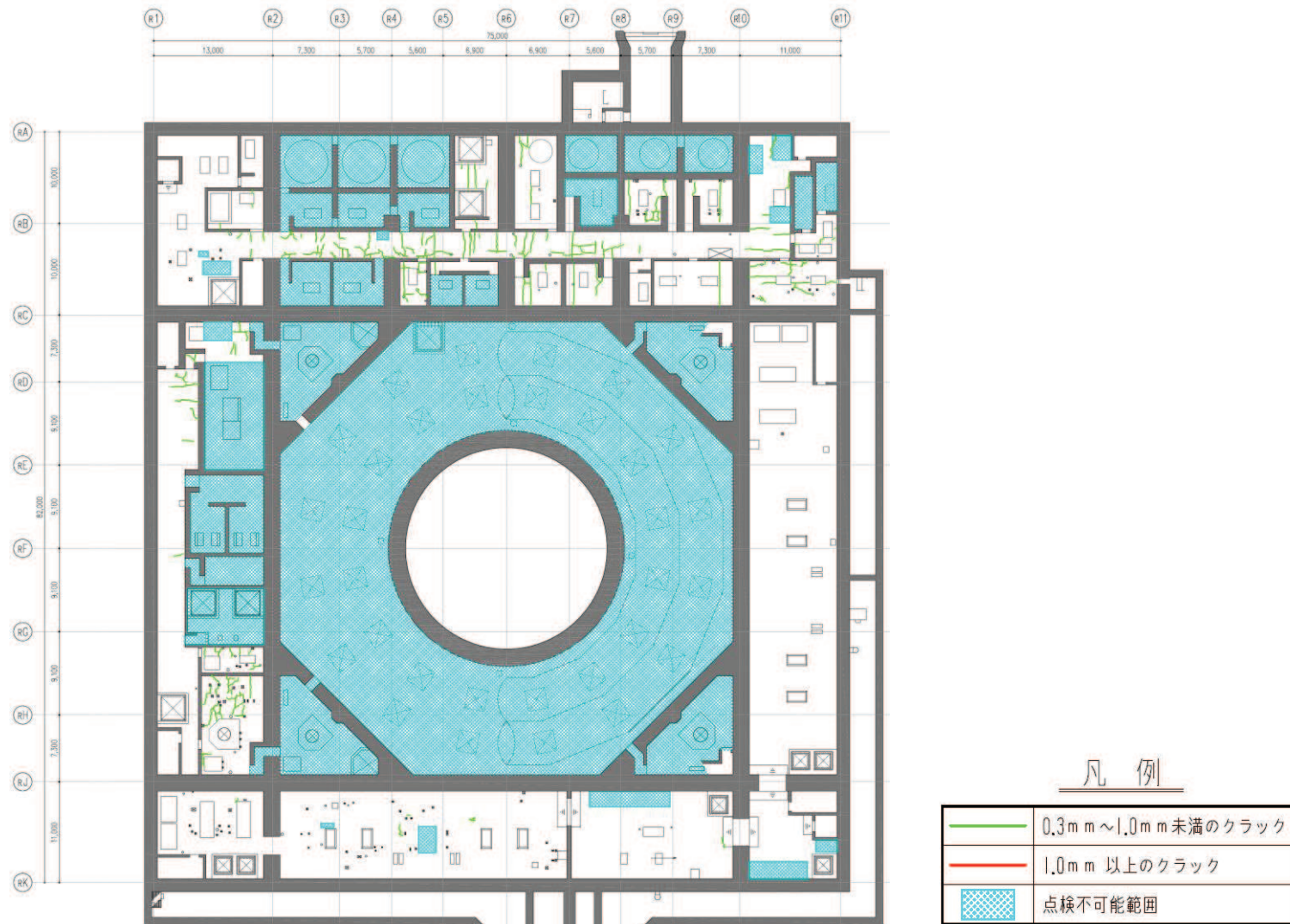


図1 基礎版の点検結果

別紙 5 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析
(原子炉建屋)

目 次

1. 検討の目的.....	1
2. 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析.....	2
2.1 解析モデルの概要.....	2
2.1.1 建屋モデル.....	2
2.1.2 入力地震動の算定.....	10
2.2 地震応答解析結果.....	12
2.2.1 最大加速度分布の比較.....	12
2.2.2 観測記録の床応答スペクトルとの比較.....	15
2.2.3 シミュレーション解析結果に対する考察.....	20
2.2.4 面内せん断ひずみ分布と点検結果との比較.....	25
2.2.5 地震による建屋の構造的影響評価.....	45
3. 評価結果のまとめ.....	46

1. 検討の目的

3.11 地震及び 4.7 地震の 2 つの地震について、原子炉建屋の 3 次元 FEM 等価線形モデルにより建屋内に設置された地震計の観測記録を用いてシミュレーション解析を行う。

本検討は、3 次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析結果から、3.11 地震時及び 4.7 地震時に建屋各部に発生する面内せん断ひずみを算定し、耐震壁の点検結果との整合性確認を行った上で、3.11 地震及び 4.7 地震時の建屋の構造的影響評価を行うことを目的とする。

2. 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析

2.1 解析モデルの概要

2.1.1 建屋モデル

原子炉建屋 3次元 FEM モデルによる地震応答解析は、基礎版上における水平方向の地震観測記録を用いた周波数応答解析（線形解析）とする。建屋モデルは等価線形モデルとする。

解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の基礎版上での観測記録を解析モデルの基礎版上に入力する。

解析結果と観測記録の整合性は、最大応答加速度及び加速度応答スペクトルについて観測記録との比較によって確認する。

建屋モデルの概要を以下に示す。水平方向解析モデルの諸元の設定について表 2-1 に示す。

①モデル化範囲

質点系モデルで考慮した耐震壁，主要な補助壁，床スラブ（基準階のみ），基礎スラブ，柱，はり及び屋根トラス

②地盤ばね

水平方向地震応答解析モデルでは、アドミッタンス理論により算定される基礎底面水平地盤ばね及び回転地盤ばね（J E A Gによる近似法）を基礎版底面の節点に取りつく離散化ばねとしてモデル化する。なお、側面地盤ばねは考慮しないものとする。

③質量

壁と床はシェル要素でモデル化し、厚さに応じたコンクリート重量を与える。基準階ごとに、上下の階高の1/2の範囲を支配高さとして重量を算定し、質点系モデルの重量から不足する重量（機器荷重や配管荷重等に相当）は、床面に等分布荷重として与えて、質点系モデルの重量と等しくなるようにする。

④鉄筋コンクリート剛性

設計剛性を基本とし、壁については建屋各部の地震観測シミュレーションにより、オペフロ上部とオペフロ下部で最適な剛性を設定する。また、質点系シミュレーションモデルの剛性も参考にして、NS方向の壁とEW方向の壁は独立に剛性を設定する。なお、シェル壁と火打ち壁については方向性がないため、NS方向とEW方向の壁の剛性の平均値とする。床スラブは設計剛性とする。

⑤減衰

RC部分は7%の一定減衰とする。

各階のモデル化範囲および解析モデル図を図2-1に示す。また、解析モデルに用

いる物性値を表2-2に示す。図2-2及び図2-3に解析モデルのNS方向及びEW方向の1次固有モードを示す。1次固有モードは刺激関数が最大となるモードとして選定した。

表2-1 解析モデル諸元の設定（水平方向）

項目		シミュレーション解析 (当該地震による評価)
応答計算法		周波数応答解析(線形解析)
入力地震動		原子炉建屋の基礎版上での観測記録を解析モデルの基礎版上に入力
剛性評価	考慮範囲	耐震壁，主要な補助壁，床スラブ，基礎スラブ，柱， はり ，屋根トラス
	ヤング係数(E) せん断弾性係数(G)	壁要素のみ観測記録との適合性を踏まえ再設定 床要素，柱， はり は設計剛性
	剛性・復元力特性 の設定の考え方	観測記録と整合する等価な剛性のモデル化は，壁のヤング係数・せん断弾性係数をNS，EW方向別に再設定することにより行う。特にオペフロ上部はオペフロ下部と分けて設定。
減衰定数	鉄筋コンクリート	観測記録との適合性も踏まえ7%に再設定 (一定減衰)
	減衰定数設定の 考え方	埋込み効果分も含め，観測記録のみかけの減衰に対して，解析では全て鉄筋コンクリート部の減衰に代表させた。なお，水平2方向は同じ値を採用。
解析モデル	建屋-地盤相互作用	離散化ばね（水平2方向，鉛直）を基礎版底面の全節点に支配面積比で分配する。 (側面地盤との相互作用は考慮しない)
	建屋モデル	3次元FEMモデル（壁，床はシェル要素，柱， はり はビーム要素，基礎スラブはソリッド要素） (剛域などの拘束条件は設定していない)
	地盤ばね	J E A Gによる近似法により評価したばねを離散化ばねとする

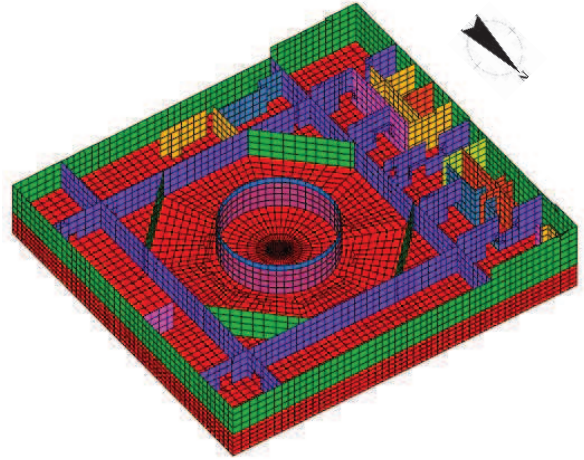
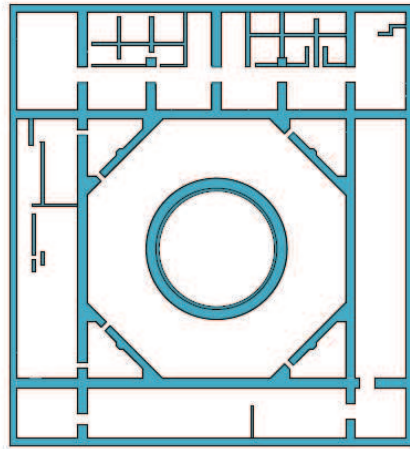


図 2-1(1) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. -8.1m)

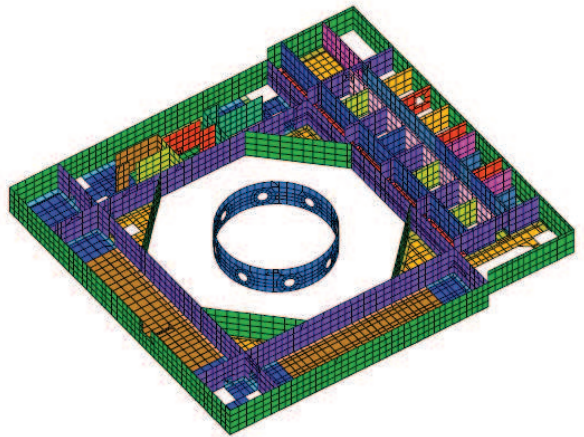
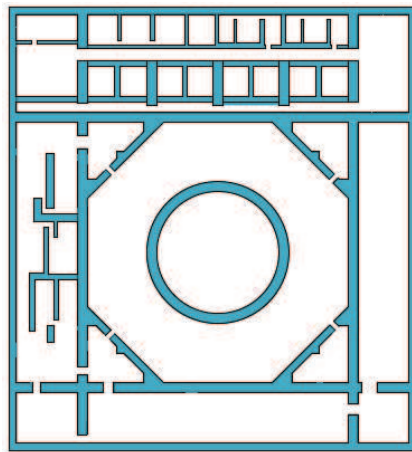


図 2-1(2) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. -0.8m)

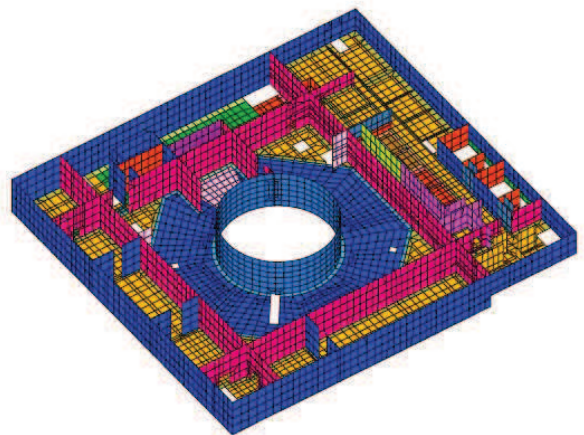
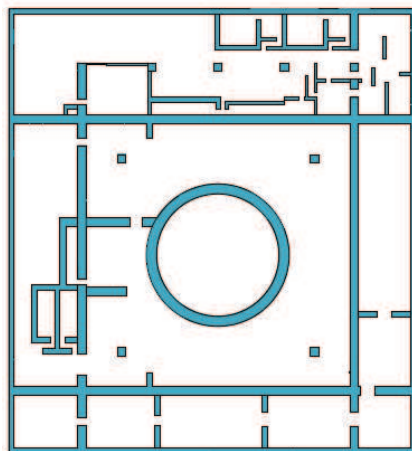


図 2-1(3) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 6.0m)

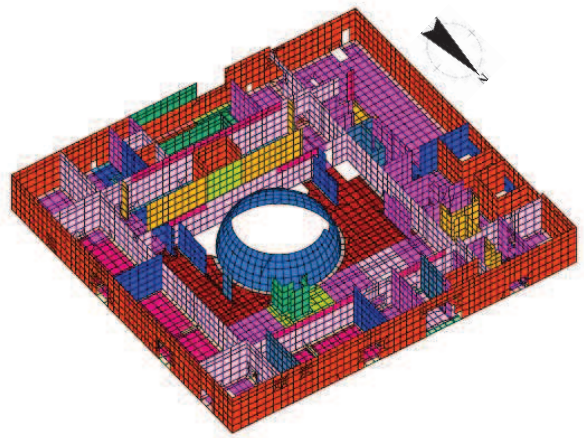
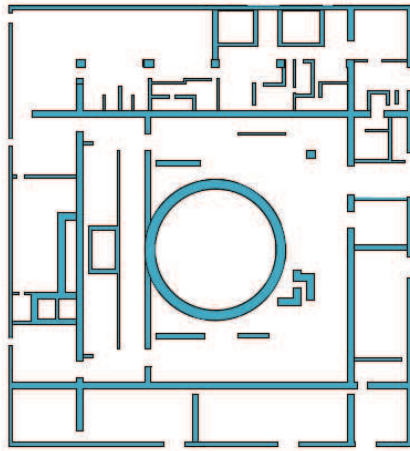


図 2-1(4) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 15. 0m)

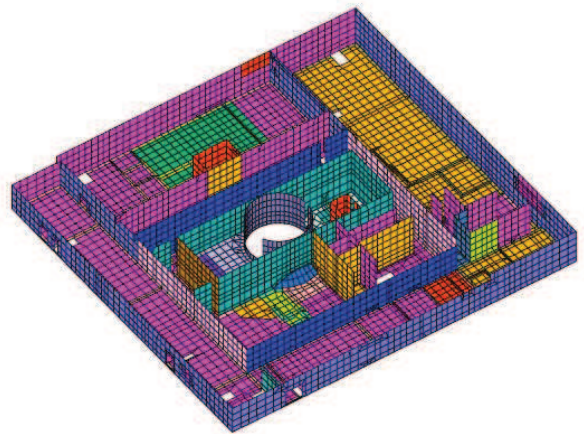
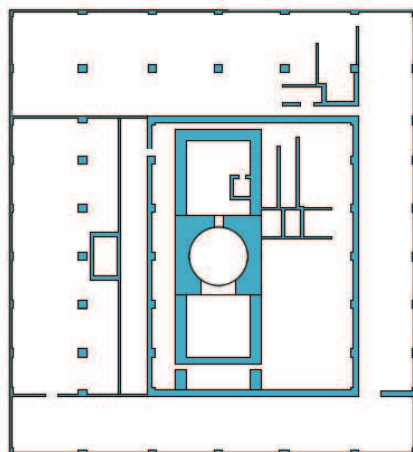


図 2-1(5) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 22. 5m)

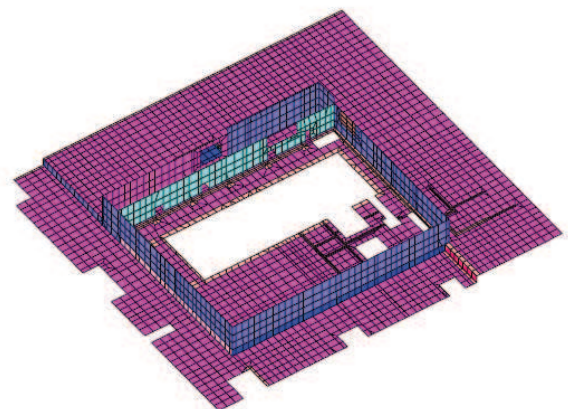
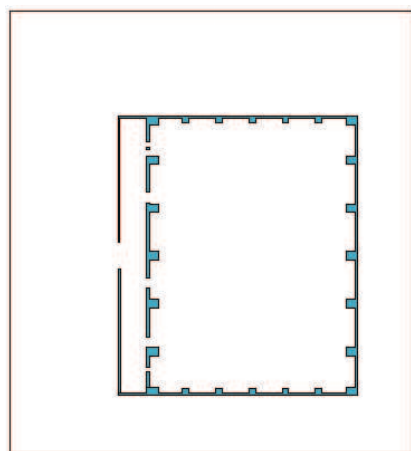


図 2-1(6) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 33. 2m)

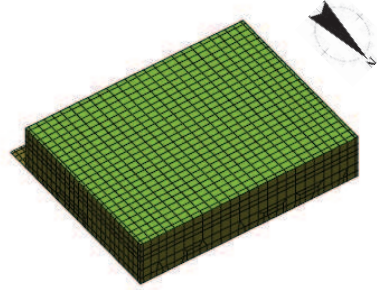
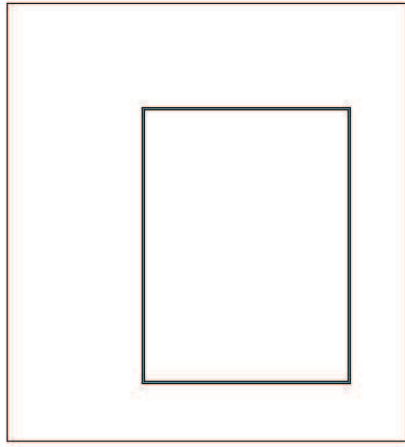


図 2-1(7) モデル化範囲及び 3 次元 FEM モデル図 (0. P. 41. 2m)

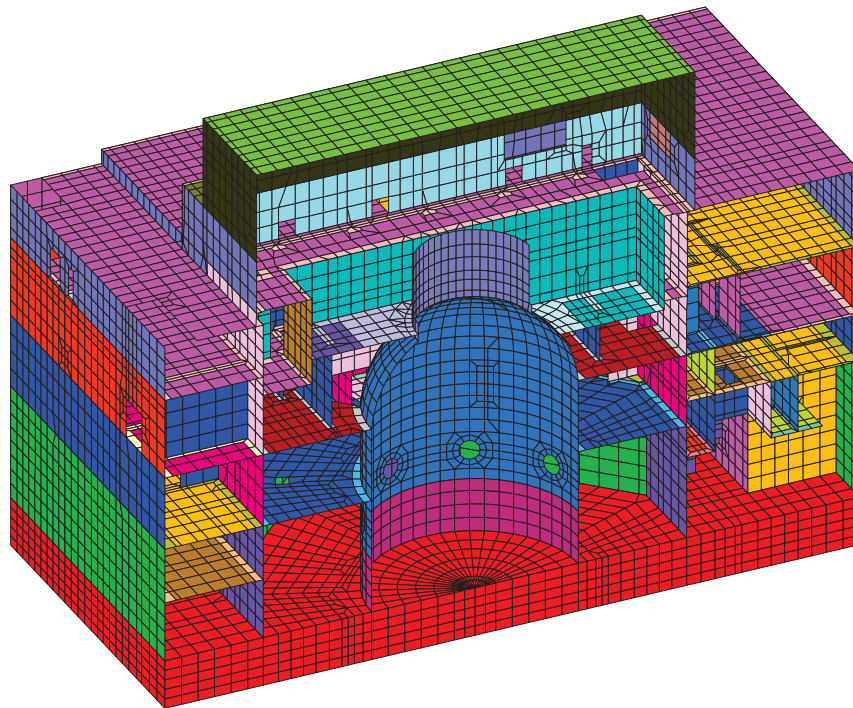
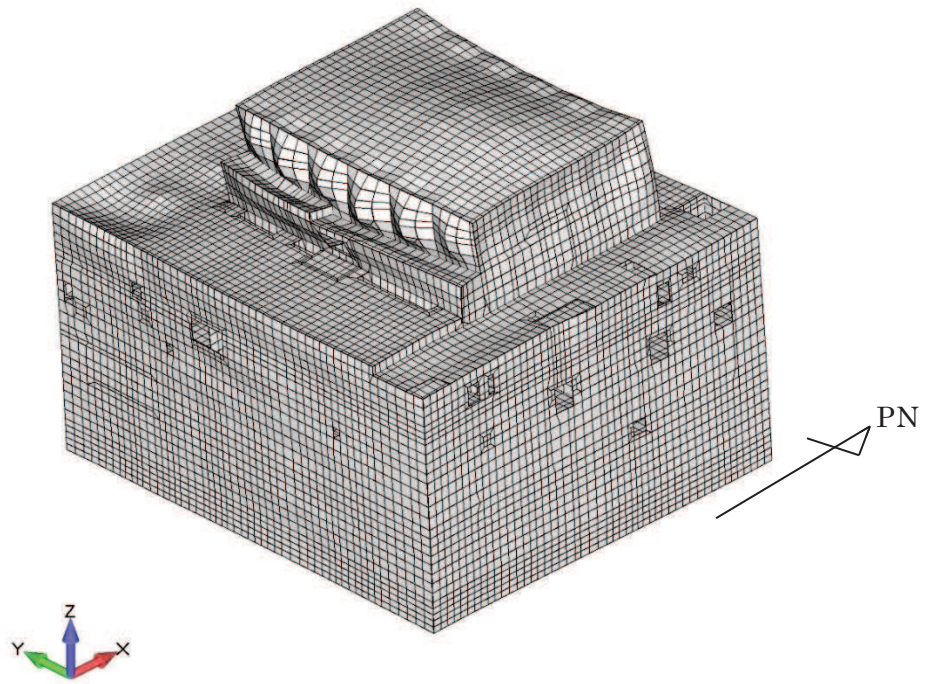


図2-1(8) 3次元FEMモデル断面図

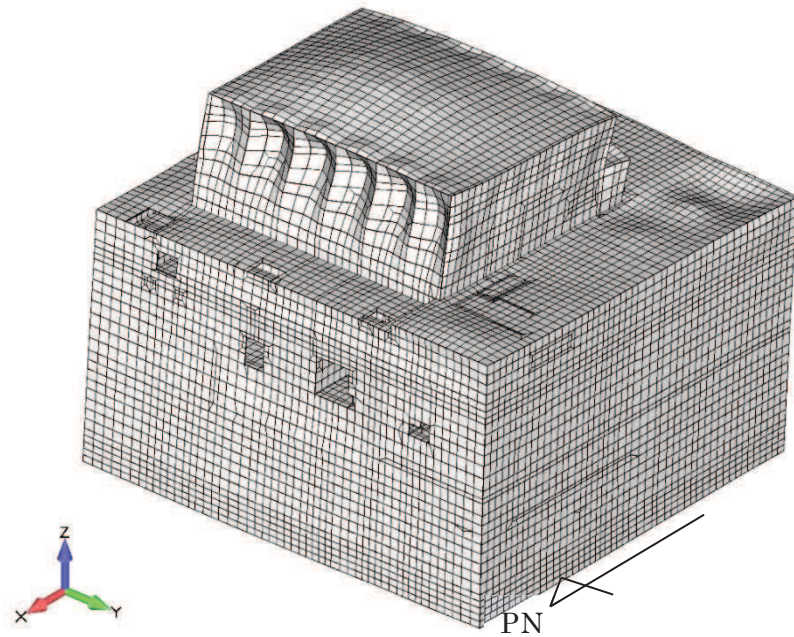
表2-2 解析モデルに用いる物性値 (水平方向)

材 料		方 向	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
コン ク リ ー ト	オペフロ上部	NS	7.94×10^3	3.41×10^3	7
		EW	13.24×10^3	5.69×10^3	7
	オペフロ下部	NS	19.86×10^3	8.53×10^3	7
		EW	21.18×10^3	9.10×10^3	7
鉄 骨			20.59×10^4	7.94×10^4	2

注：設計値 ヤング係数 2.65×10^4 N/mm²
せん断弾性係数 1.14×10^4 N/mm²

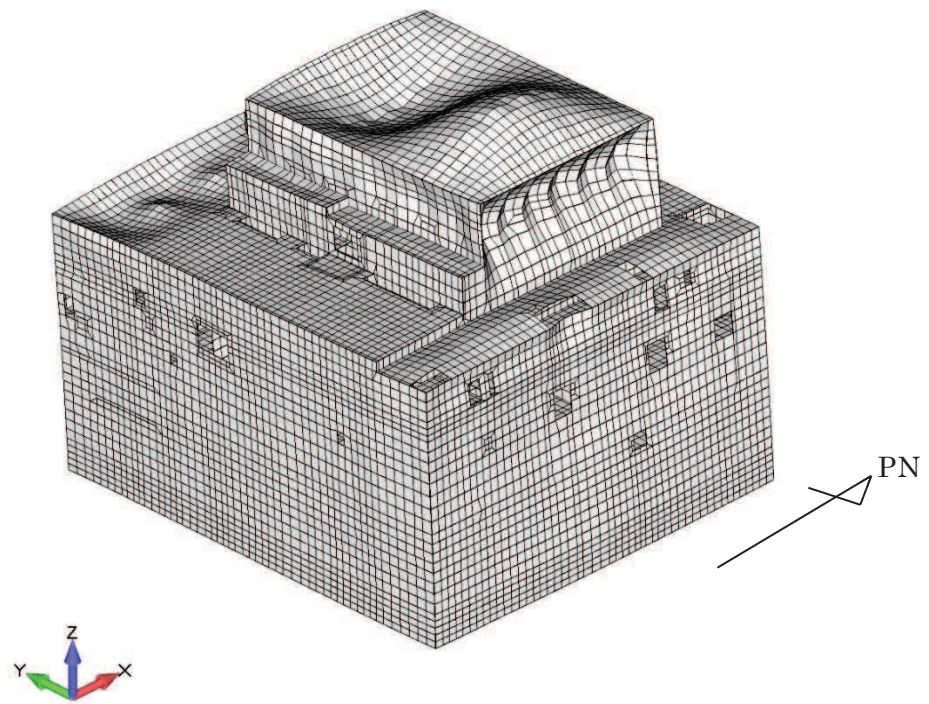


(南東)

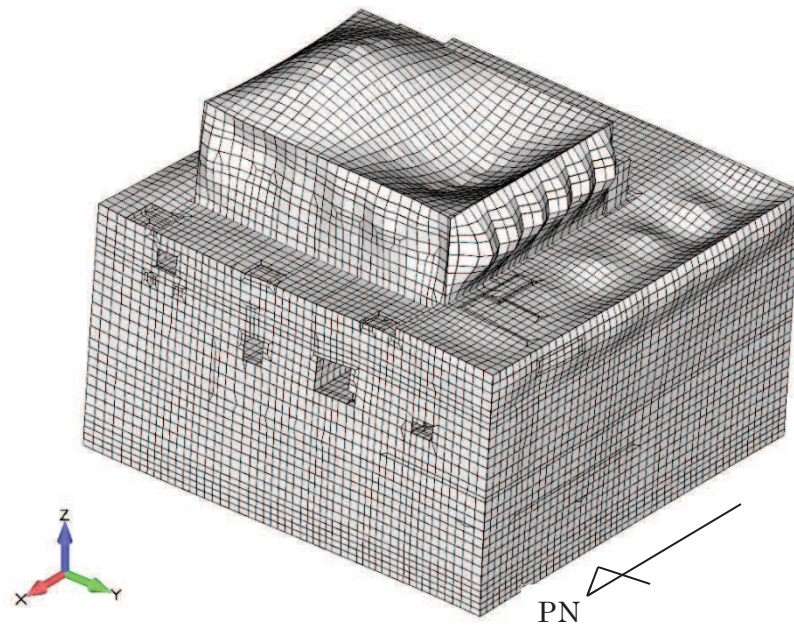


(北西)

図2-2 3次元FEMモデルNS方向1次（全体2次）固有モード図
（周期0.245秒）



(南東)



(北西)

図 2-3 3次元 FEM モデル EW 方向 1 次 (全体 3 次) 固有モード図
(周期 0.233 秒)

2.1.2 入力地震動の算定

解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の基礎版上での観測記録を線形解析モデルの基礎版上に入力し、建屋各部の応答を算定する。基礎版上の観測記録の選定にあたっては、3方向成分を観測していること、また、各階の地震計位置と整合しておりシミュレーション解析に適していることから、2RB-6の地震計の観測記録を用いた。入力地震動の概念を図2-4に示す。また、原子炉建屋における地震計配置図（断面図及び平面図）を図2-5に示す。

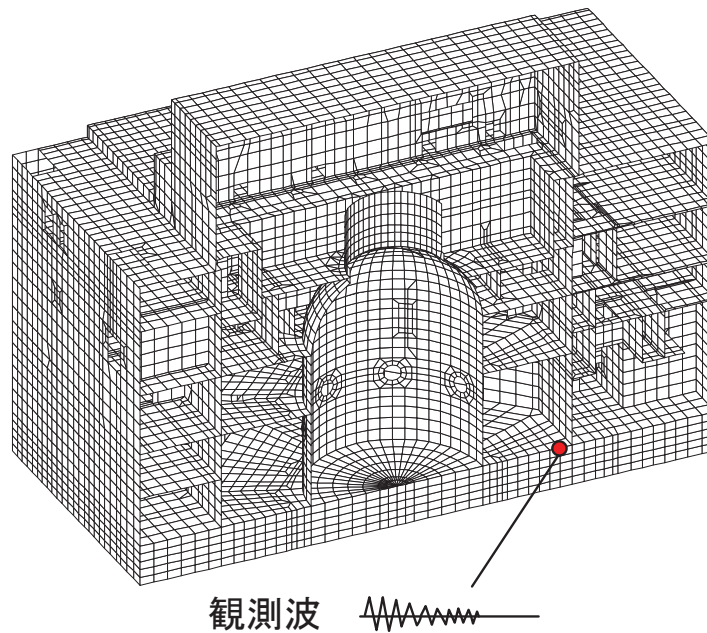


図2-4 入力地震動（基礎上の節点（2RB-6）に観測波を入力）

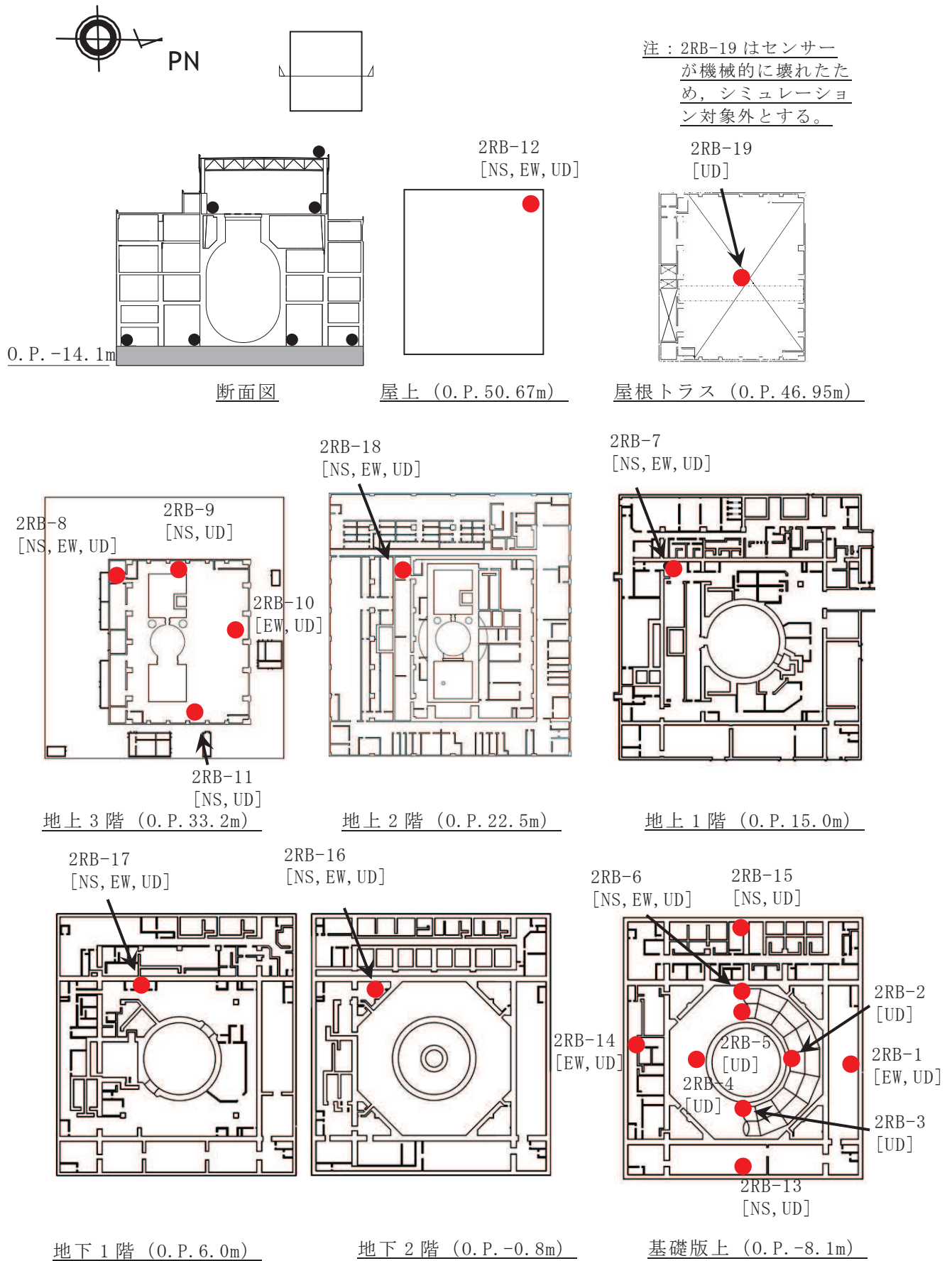


図 2-5 原子炉建屋 地震計配置図

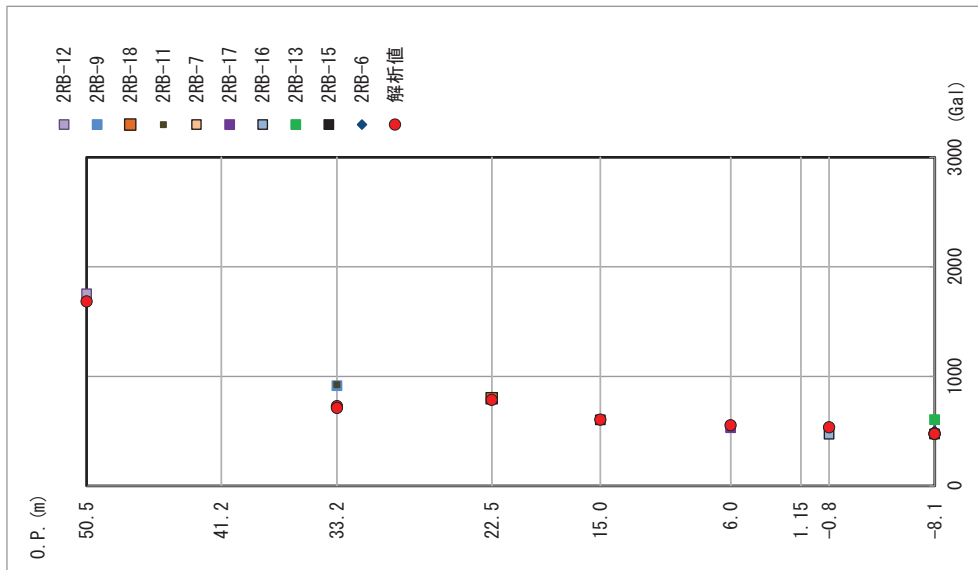
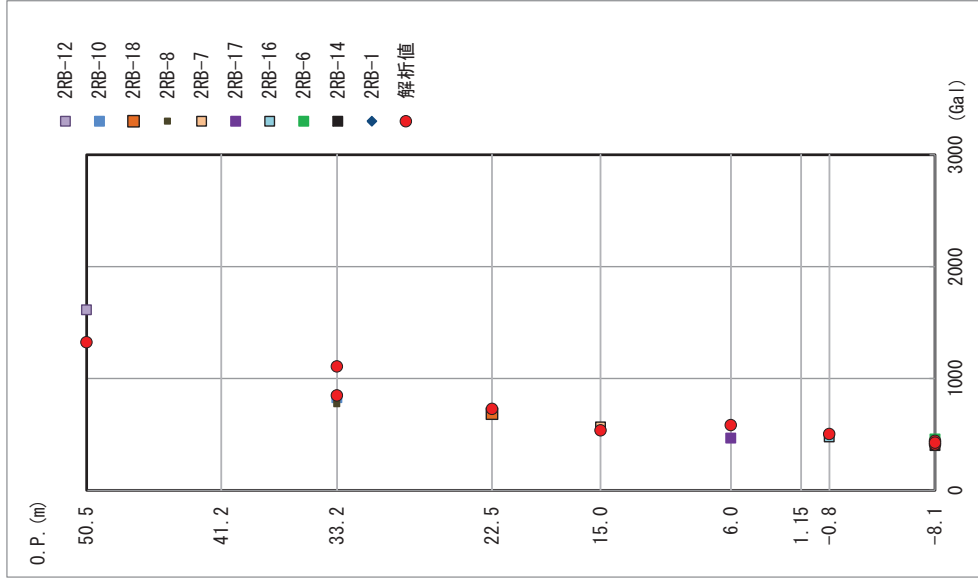
2.2 地震応答解析結果

作成した3次元FEMモデルの妥当性を確認するため、地震観測記録のシミュレーション解析を行う。

2.2.1 最大加速度分布の比較

3.11地震及び4.7地震の3次元FEMモデルにより算定した応答波形の最大加速度分布を観測記録と比較して図2-6及び図2-7に示す。比較にあたっては、図2-5に示す地震計位置で得られた観測記録の最大加速度と、地震計位置に相当する解析モデルの節点における解析結果とを比較して示している。

3次元FEMモデルにより算定した応答波形の最大加速度は、4.7地震の屋上で観測記録より小さくなっているものの、オペフロ下部では観測記録と概ね整合している。



EW方向

NS方向

図2-6 3次元FEMモデルと観測記録の最大加速度分布 (3.11地震)

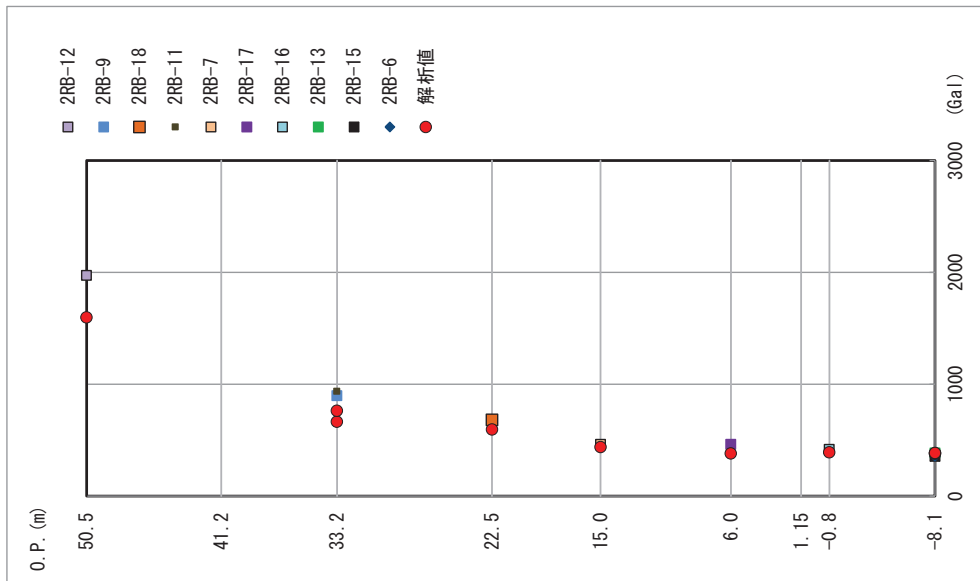
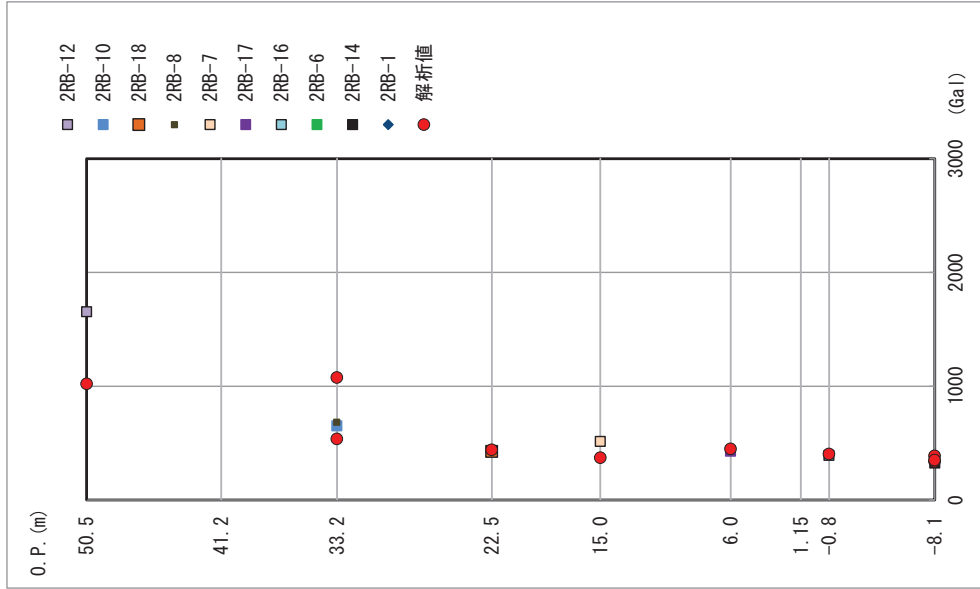


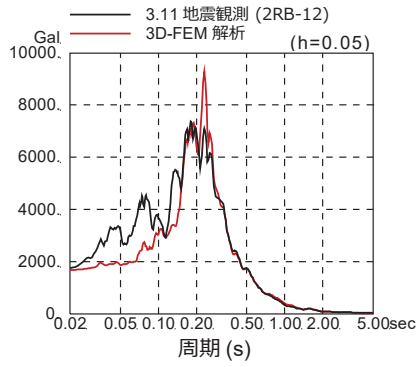
図2-7 3次元FEMモデルと観測記録の最大加速度分布 (4.7地震)

2.2.2 観測記録の床応答スペクトルとの比較

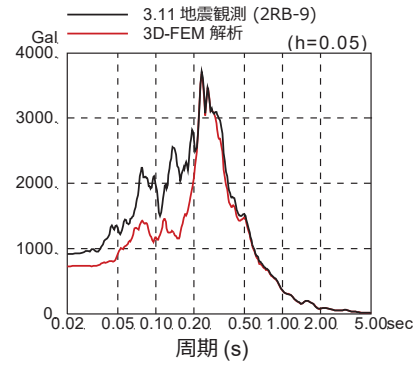
3次元FEMモデルのシミュレーション解析による床応答スペクトルと3.11地震及び4.7地震の観測記録の床応答スペクトルを比較して図2-8～図2-11に示す。比較にあたっては、図2-5に示す地震計位置で得られた観測記録の床応答スペクトルと、地震計位置に相当する解析モデルの節点における解析結果とを比較して示している。

3次元FEMモデルのシミュレーション解析による床応答スペクトルは、3.11地震のNS方向については屋上と地上3階と地上2階で高次成分のピーク位置に差が見られるものの、地上1階以下では高次のピークまで概ね観測記録と対応している。3.11地震のEW方向では、屋上と地上3階の1箇所の高次成分のピークに差が見られるが、それ以外の観測点については概ね対応している。

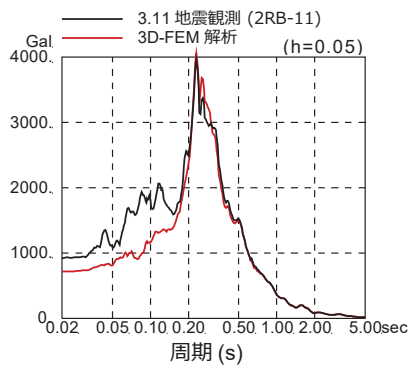
4.7地震のNS方向については、3.11地震に比べると高次成分の差が大きいが、EW方向については3.11と同様に屋上と地上3階の1箇所の高次成分のピークに差が見られるが、それ以外の観測点については概ね対応している。



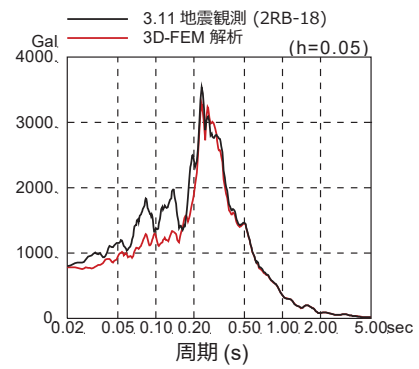
屋上 (O. P. 50.5m)



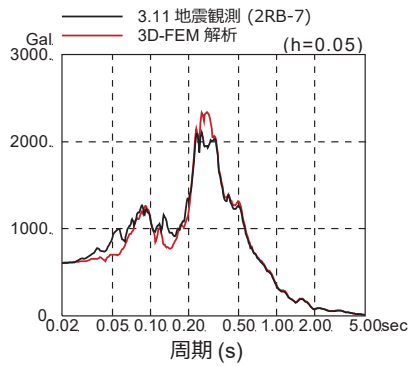
地上3階 (O. P. 33.2m)



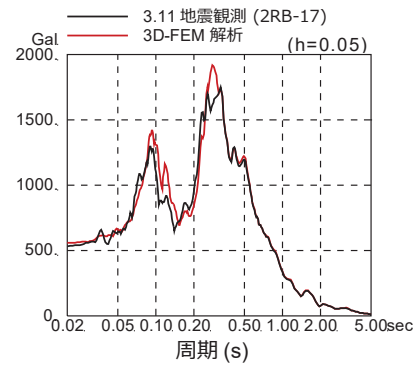
地上3階 (O. P. 33.2m)



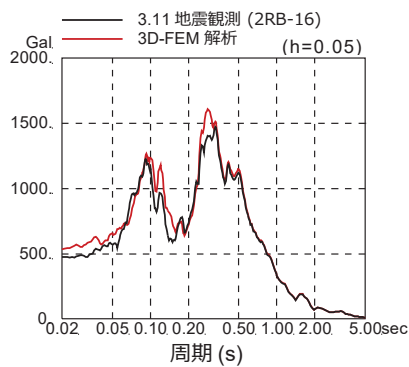
地上2階 (O. P. 22.5m)



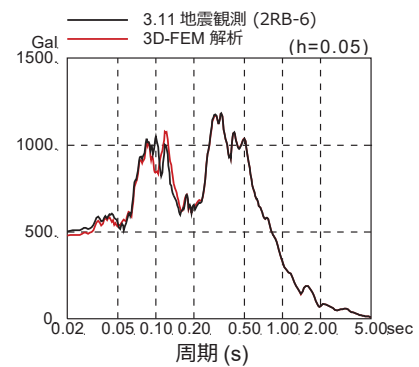
地上1階 (O. P. 15.0m)



地下1階 (O. P. 6.0m)

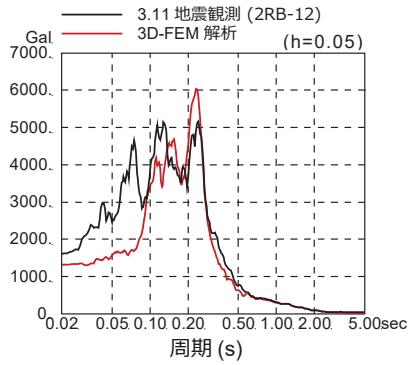


地下2階 (O. P. -0.8m)

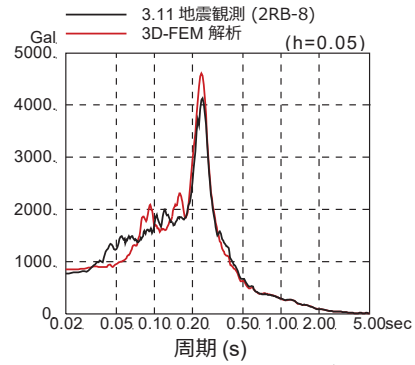


基礎版上 (O. P. -8.1m)

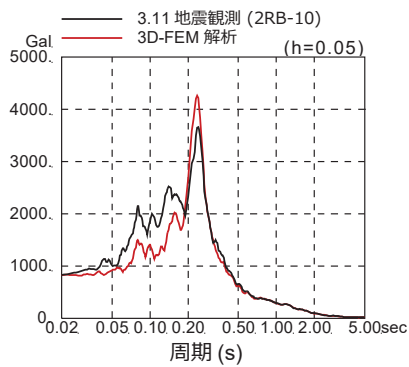
図2-8 3次元FEMモデルと3.11地震の床応答スペクトルの比較 (NS方向)



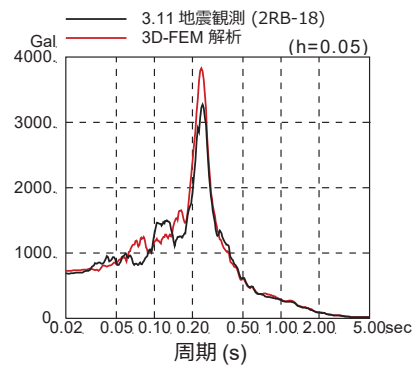
屋上 (O. P. 50.5m)



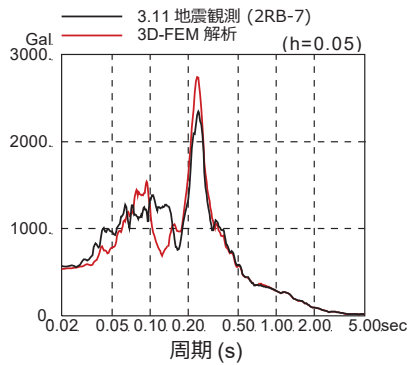
地上3階 (O. P. 33.2m)



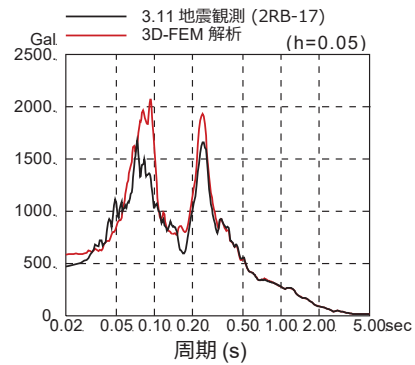
地上3階 (O. P. 33.2m)



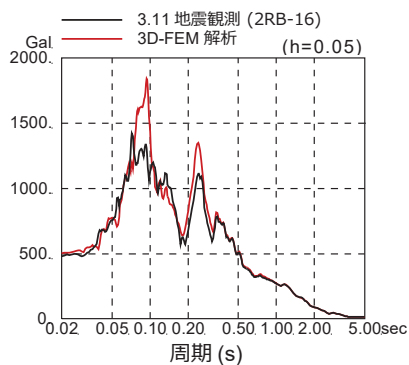
地上2階 (O. P. 22.5m)



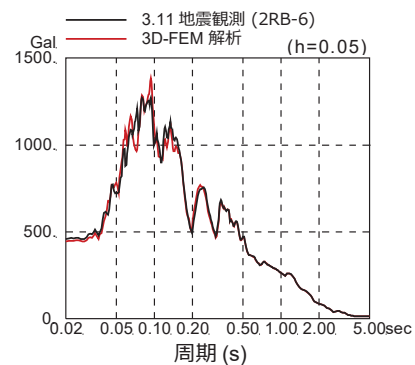
地上1階 (O. P. 15.0m)



地下1階 (O. P. 6.0m)

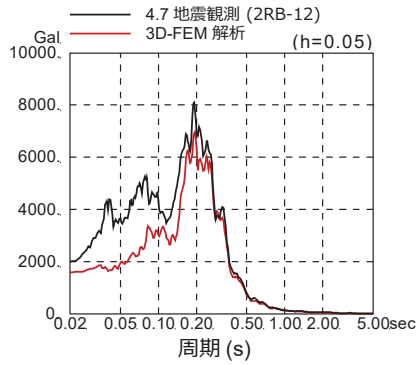


地下2階 (O. P. -0.8m)

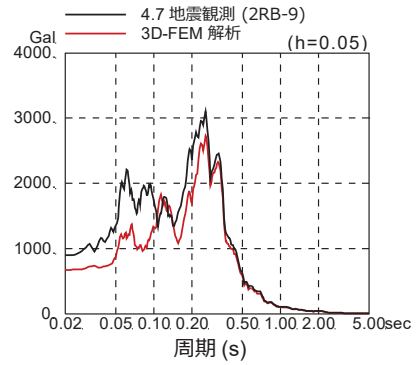


基礎版上 (O. P. -8.1m)

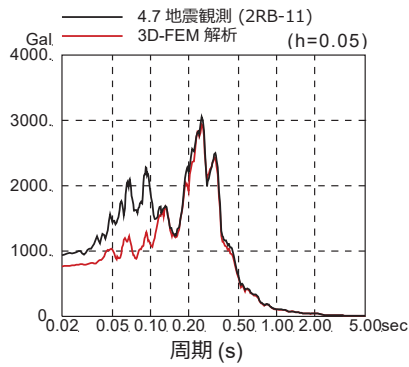
図2-9 3次元FEMモデルと3.11地震の床応答スペクトルの比較 (EW方向)



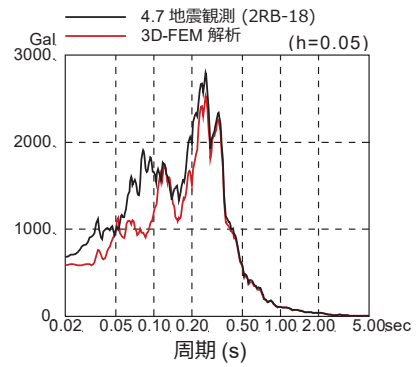
屋上 (O. P. 50.5m)



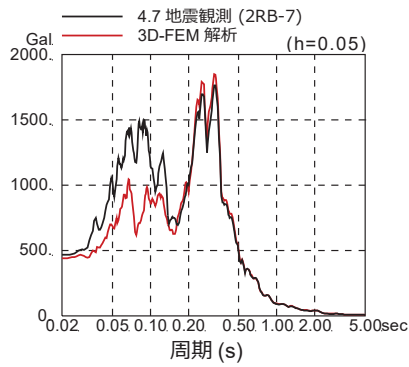
地上3階 (O. P. 33.2m)



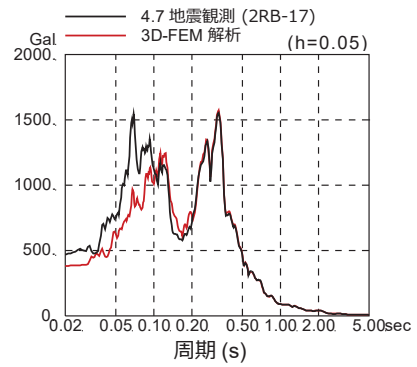
地上3階 (O. P. 33.2m)



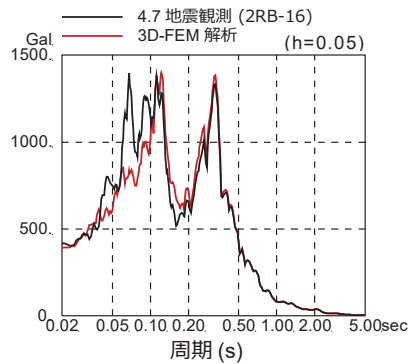
地上2階 (O. P. 22.5m)



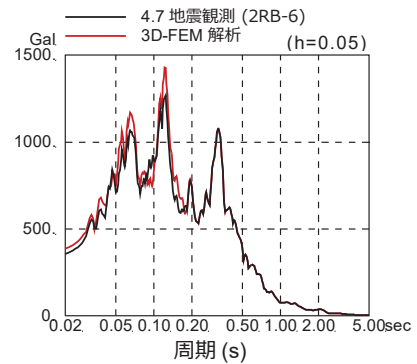
地上1階 (O. P. 15.0m)



地下1階 (O. P. 6.0m)

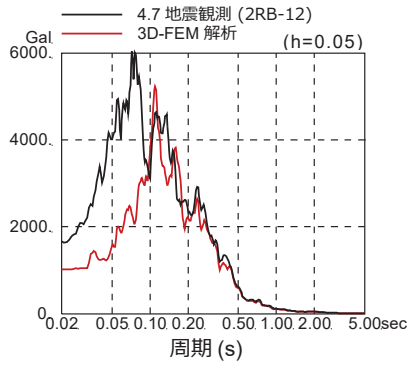


地下2階 (O. P. -0.8m)

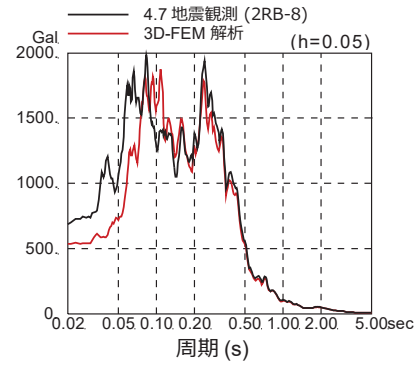


基礎版上 (O. P. -8.1m)

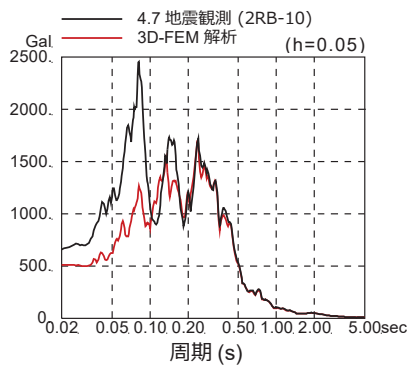
図2-10 3次元FEMモデルと4.7地震の床応答スペクトルの比較 (NS方向)



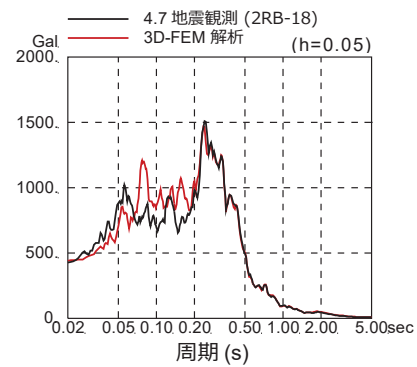
屋上 (O.P. 50.5m)



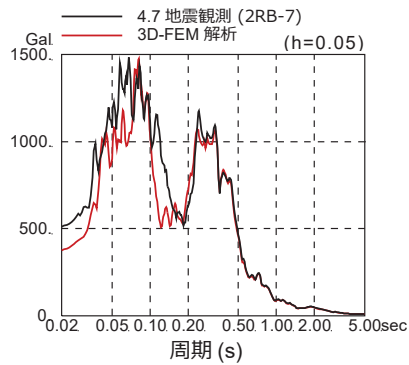
地上3階 (O.P. 33.2m)



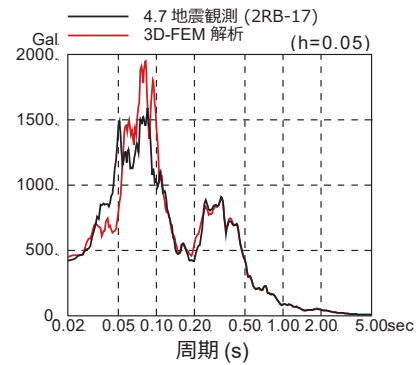
地上3階 (O.P. 33.2m)



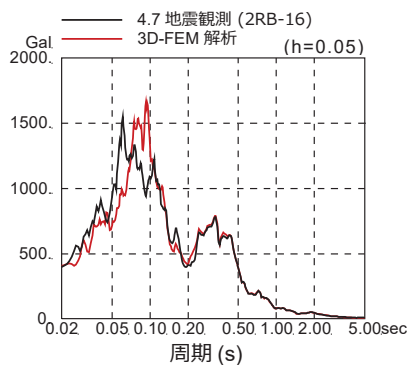
地上2階 (O.P. 22.5m)



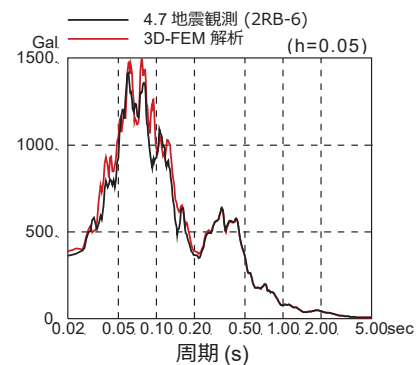
地上1階 (O.P. 15.0m)



地下1階 (O.P. 6.0m)



地下2階 (O.P. -0.8m)



基礎版上 (O.P. -8.1m)

図2-11 3次元FEMモデルと4.7地震の床応答スペクトルの比較 (EW方向)

2.2.3 シミュレーション解析結果に対する考察

図2-7で、4.7地震のEW方向屋上で3次元FEMモデルの最大応答加速度は観測記録よりも小さく評価されているものの、別紙1の質点系モデルによるシミュレーション解析の最大応答加速度では同等の評価結果が得られている。一方で、3.11地震のEW方向屋上では質点系のシミュレーション解析モデルによる最大応答加速度が過大評価であったことから、この解析結果に対する考察を、3.11地震及び4.7地震の周期特性、また、解析モデルの伝達特性に着目して以下に示す。なお、質点系モデルと3次元FEMモデルの応答性状の差が顕著に表れているのはEW方向であるため、EW方向に着目して検討する。

図2-12に3.11地震と4.7地震の基礎上観測記録の加速度応答スペクトルを示す。図2-13に質点系モデルと3次元FEMモデルの基礎上観測点位置の床応答時刻歴波形に対する屋上観測点位置の3.11地震と4.7地震の床応答時刻歴波形の伝達関数を示す。図2-13には観測記録の伝達関数も比較のため示す。図2-14に3.11地震と4.7地震の屋上観測記録と質点系モデル及び3次元FEMモデルの屋上の加速度応答スペクトルを比較して示す。

図2-13の3.11地震EW方向の伝達関数に着目すると、質点系モデルでは8Hz付近では質点系モデルの伝達関数がピークになっているのに対し、3次元FEMモデルの伝達関数は8Hz付近で谷になっている。図2-12より、8Hzに対応する周期0.125秒付近の基礎上観測記録の加速度応答スペクトルは、3.11地震のほうが4.7地震より大きい。図2-14の屋上観測点における3.11地震EW方向の加速度応答スペクトルでは、質点系モデルの周期0.12秒付近に大きなピークがあり、これより短周期側で応答が大きくなっている。従って、質点系モデルの3.11地震EW方向の応答加速度が大きくなるのは8Hz付近の伝達関数のピークの影響と考えられる。

図2-14の3次元FEMモデルにおける屋上観測点位置での加速度応答スペクトル（4.7地震、EW方向）は、周期0.1秒より短周期側が観測記録より小さくなっているため、最大応答加速度が観測記録より過小評価になっている。図2-13の伝達関数では、11Hz付近にある観測記録の伝達関数のピーク付近で3次元FEMモデルの伝達関数が小さくなっている。図2-12の基礎上観測記録の4.7地震EW方向の加速度応答スペクトルは周期0.08～0.09秒付近にピークがあるが、この周期は観測記録の伝達関数の11Hz付近のピークに対応している。3次元FEMモデルでは、この周期成分の伝達関数が過小評価となっており、入力波の成分が建屋上部の応答に反映されないため、建屋上部の応答が過小になったと考えられる。これは、図2-14の3次元FEMモデルにおける屋上観測点位置での加速度応答スペクトル（4.7地震、EW方向）が、周期0.1秒より短周期側で観測記録より小さいことに対応する。

以上のことから、シミュレーション解析の最大応答加速度のフィッティングには8～11Hzの成分の増幅特性が影響しており、3.11地震と4.7地震の周期特性が異

なるため、それぞれの地震の質点系モデルと3次元FEMモデルのシミュレーション解析結果の傾向に差異が生じたものと考えられる。

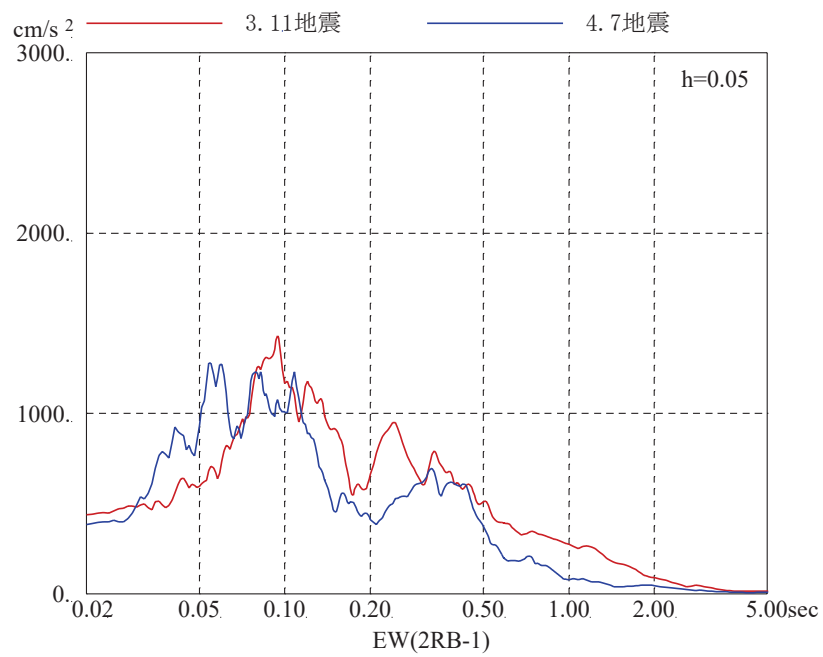
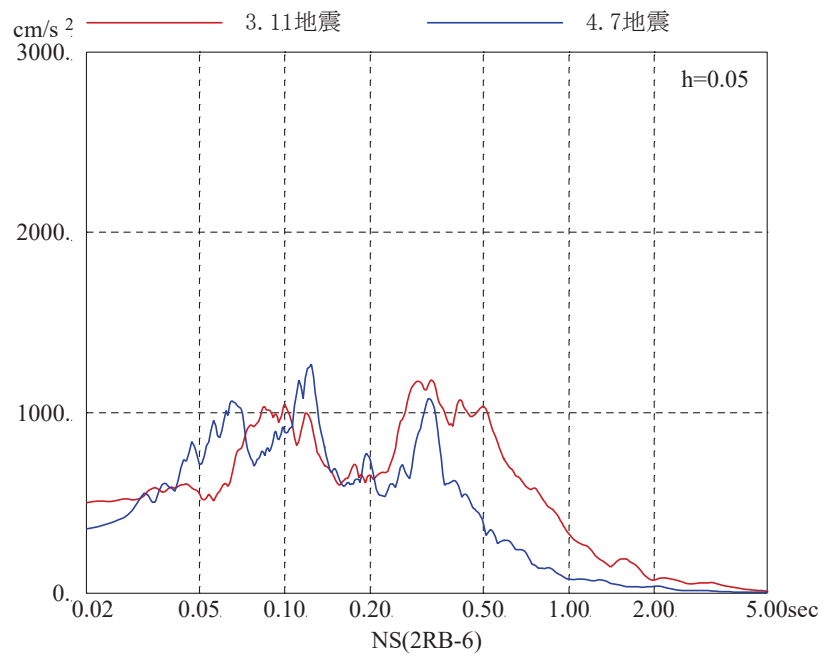
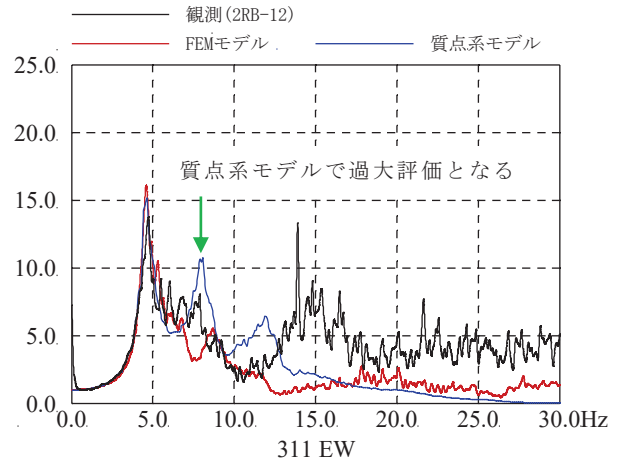
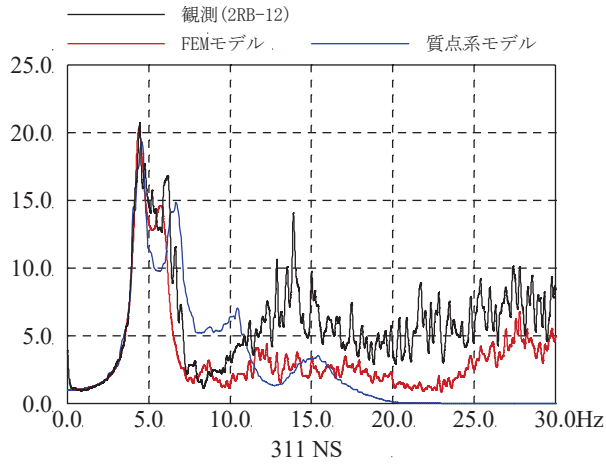
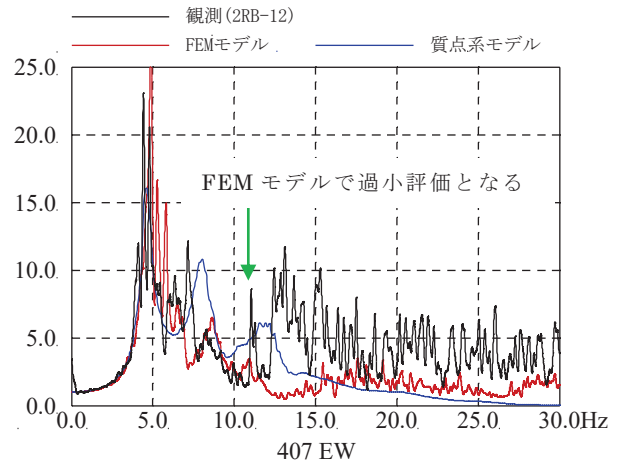
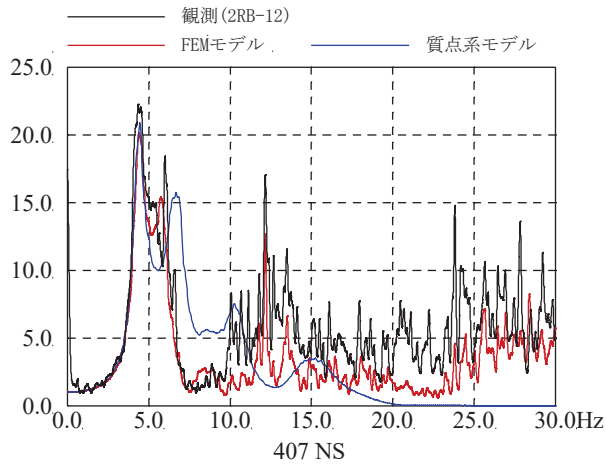


図 2-12 基礎上観測記録の加速度応答スペクトルの比較



3.11 地震



4.7 地震

図 2-13 床応答時刻歴波形の伝達関数 (屋上観測点/基礎上観測点)

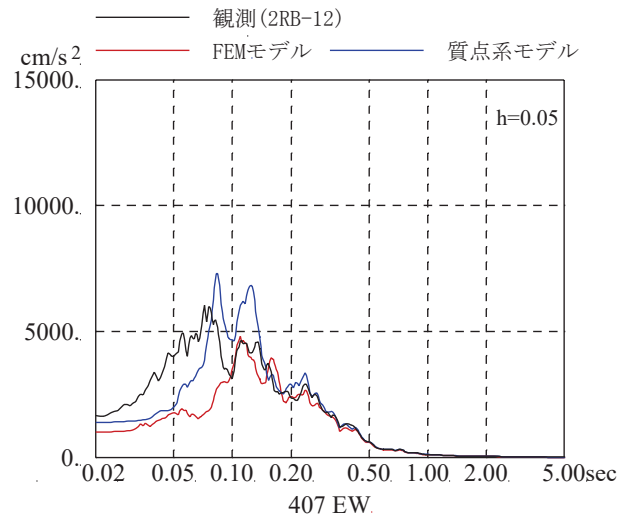
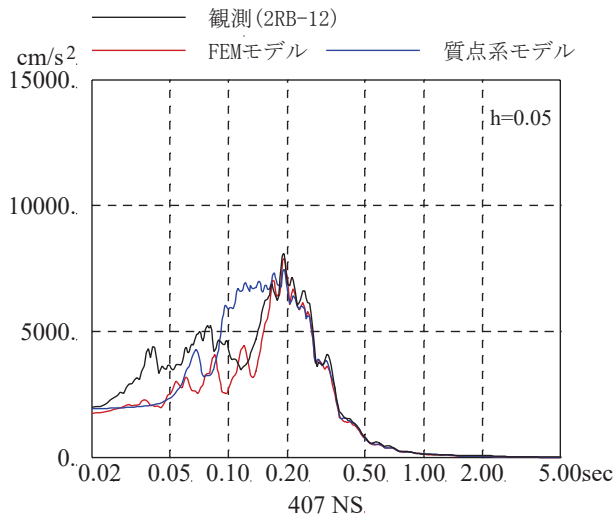
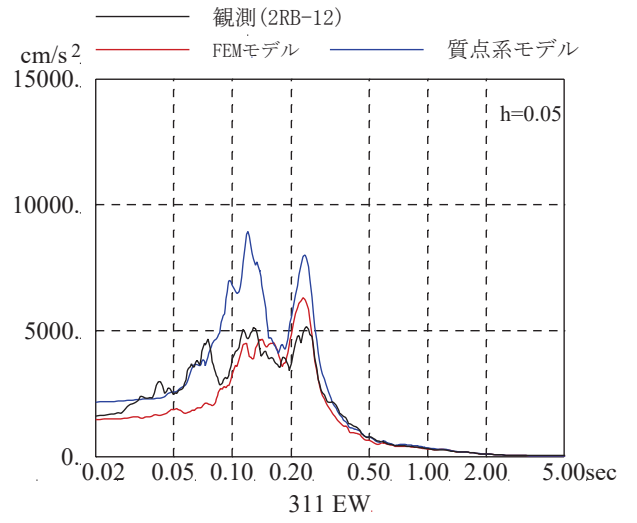
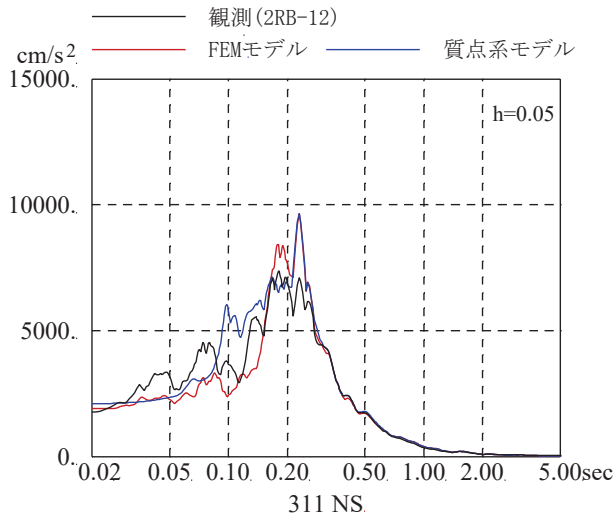


図 2-14 屋上観測点の加速度応答スペクトルの比較

2.2.4 面内せん断ひずみ分布と点検結果との比較

3次元FEMモデルによる3.11地震及び4.7地震のシミュレーション解析による建屋各部の面内せん断ひずみコンター図を図2-15～図2-52に示す。ここで、面内せん断ひずみを評価対象としたのは、剛性低下を考慮した等価線形モデルとしてシミュレーション解析を行っているため、剛性低下を考慮した部材と考慮していない部材の応答の大きさを比較するためには、面内せん断ひずみで比較した方が適切となる。また、せん断ひずみについては、コンクリートにひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 0.00025^* (0.25×10^{-3}) との比較からその影響度合いについて評価可能になる。

面内せん断ひずみ分布の特徴は以下のとおり。

- ① 面内せん断ひずみが大きくなる部位は、オペフロ上部の東面と西面の耐震壁である。
- ② オペフロ下部ではコンクリートにひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 0.00025 (0.25×10^{-3}) 以下の部分がほとんどであるが、地下3階及び地下2階の内部ボックス壁や火打ち壁周り、及び地下1階から地上2階までの内部ボックス壁の一部でせん断ひずみが目安値を上回る箇所が認められる。部分的な最大値は 0.43×10^{-3} である。なお、床スラブは基本的にはせん断ひび割れ発生目安値 0.00025 (0.25×10^{-3}) 以下である。

面内せん断ひずみ分布と耐震壁のひび割れ点検結果の比較を別紙5-1に示す。オペフロ上部でせん断ひずみが大きいこと、また、オペフロ下部では部分的にひび割れが発生するせん断ひずみの目安値を超えている箇所があることは、耐震壁の点検調査結果（オペフロ上部に比較的多くのひび割れが認められる一方、オペフロ下部では部分的に地震によるひび割れが認められる程度）と良く対応している。

*  鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会, 1999）

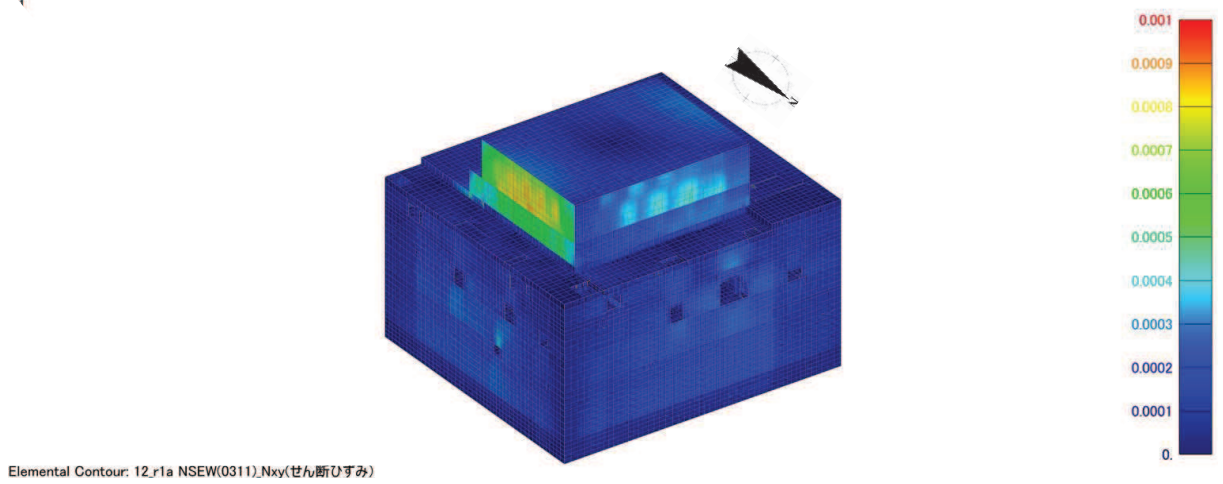


図 2-15 面内せん断ひずみコンター図（全体）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

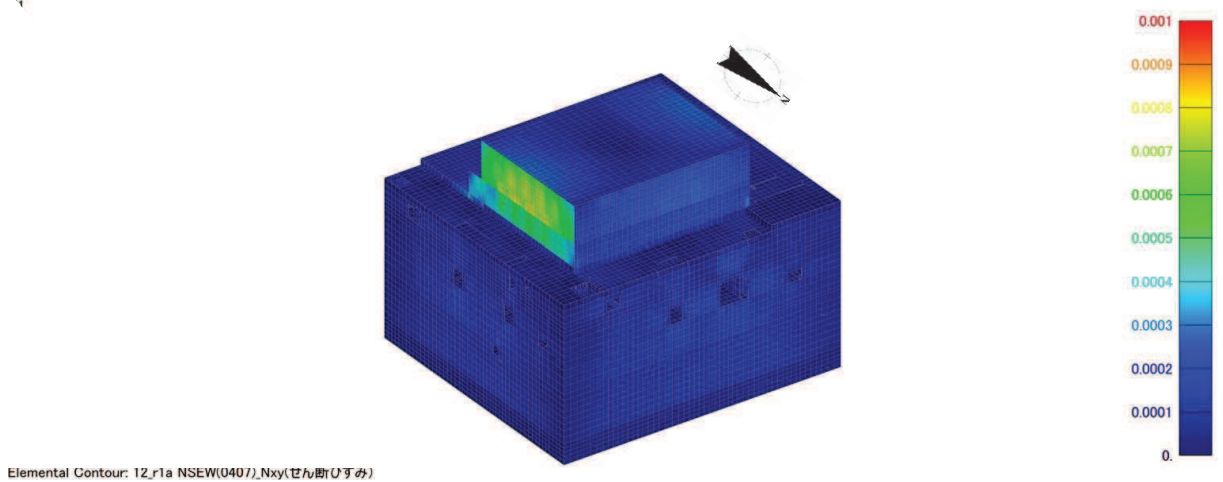
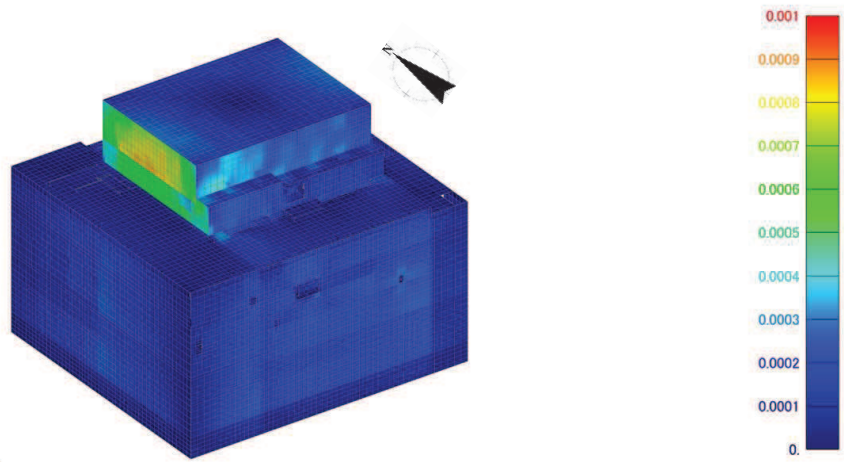
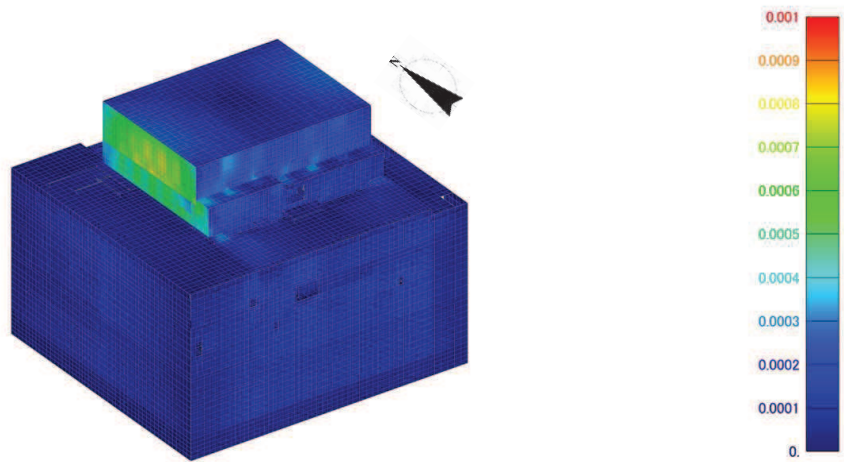


図 2-16 面内せん断ひずみコンター図（全体）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



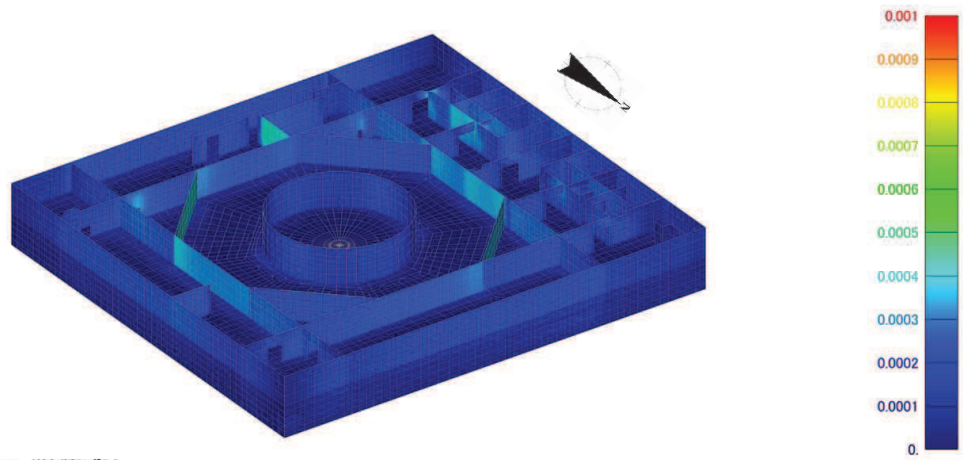
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-17 面内せん断ひずみコンター図（全体）南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



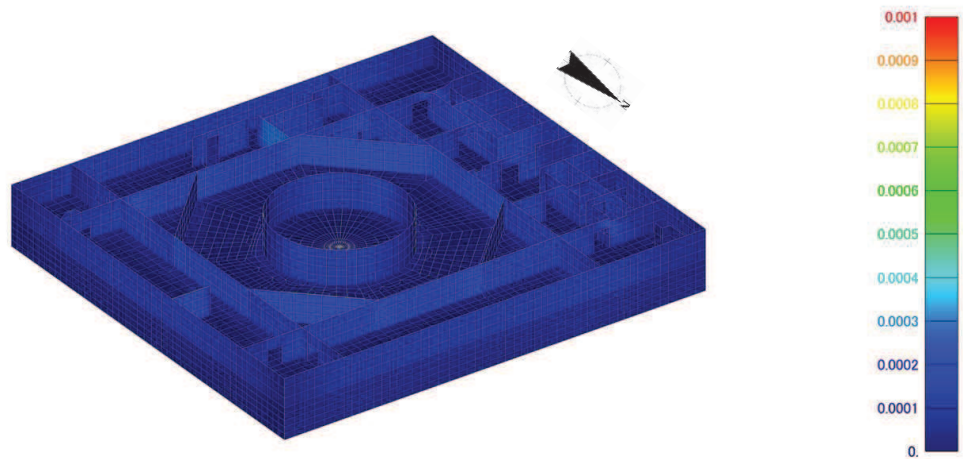
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-18 面内せん断ひずみコンター図（全体）南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



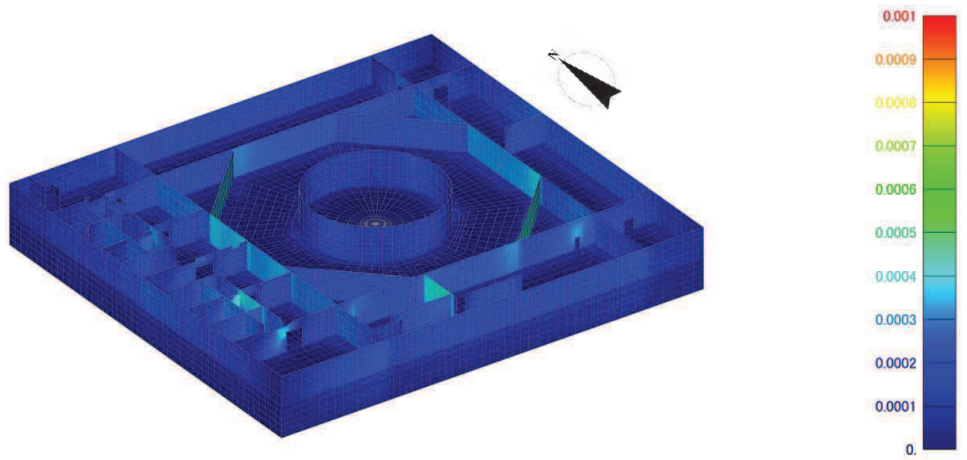
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-19 面内せん断ひずみコンター図（地下 3 階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



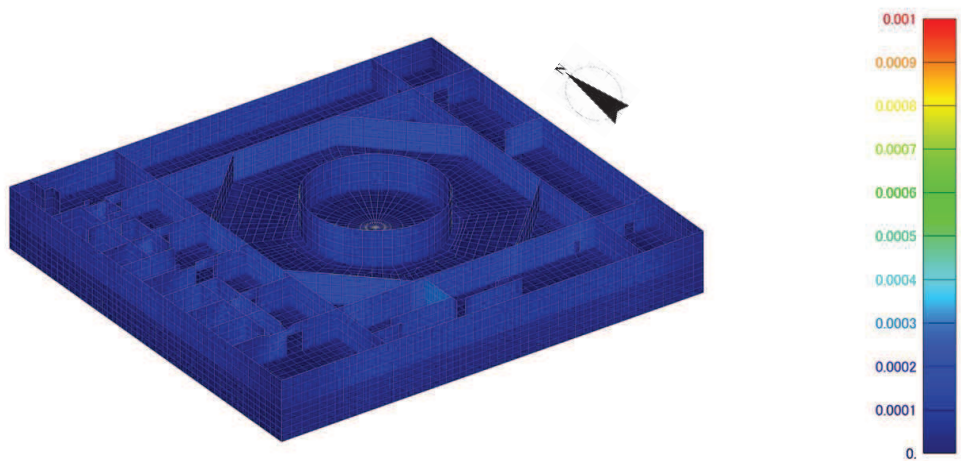
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-20 面内せん断ひずみコンター図（地下 3 階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



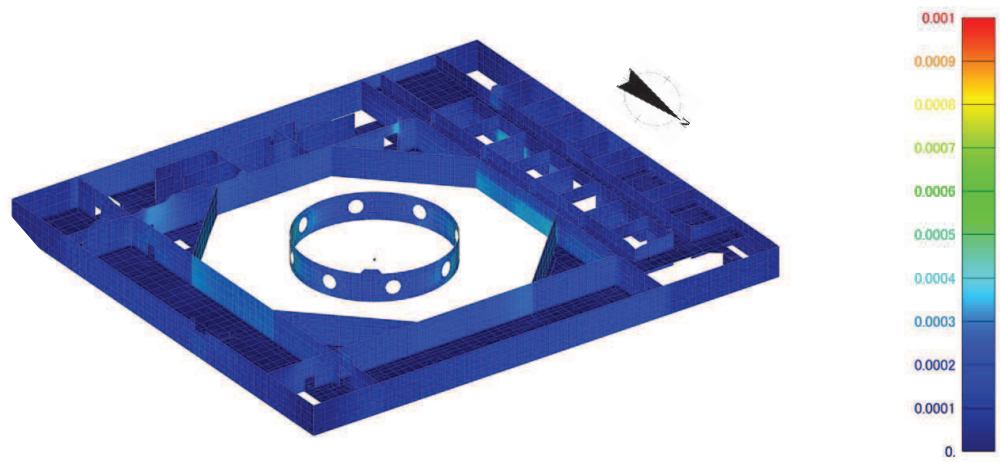
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311),Nxy(せん断ひずみ)

図 2-21 面内せん断ひずみコンター図 (地下 3 階) 南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



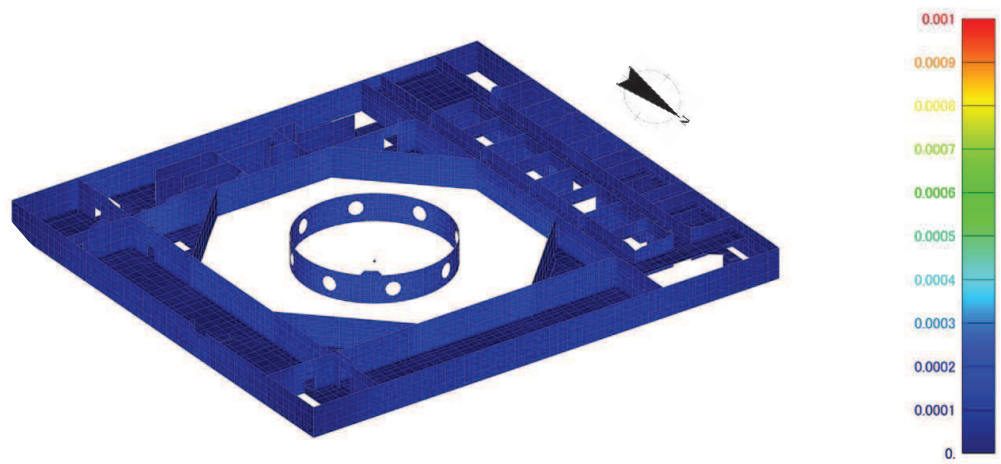
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407),Nxy(せん断ひずみ)

図 2-22 面内せん断ひずみコンター図 (地下 3 階) 南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



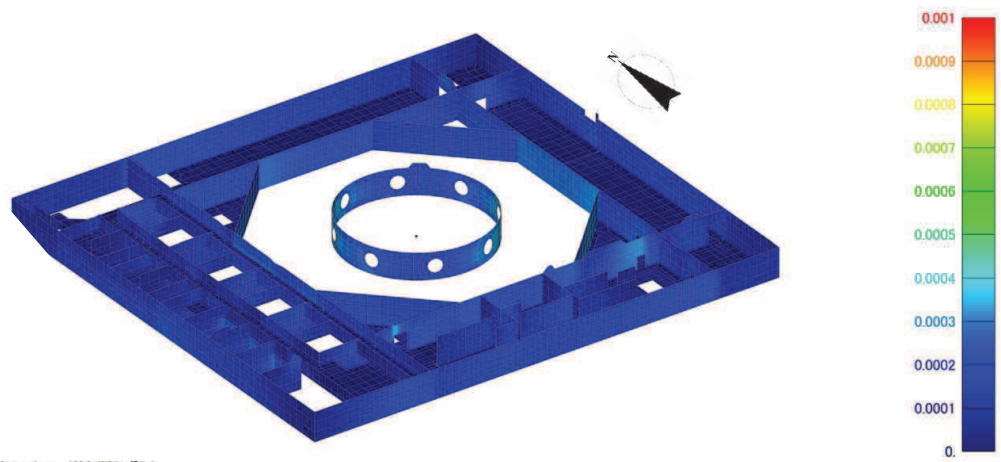
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311)_Nxy(せん断ひずみ)

図 2-23 面内せん断ひずみコンター図 (地下 2 階) 北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



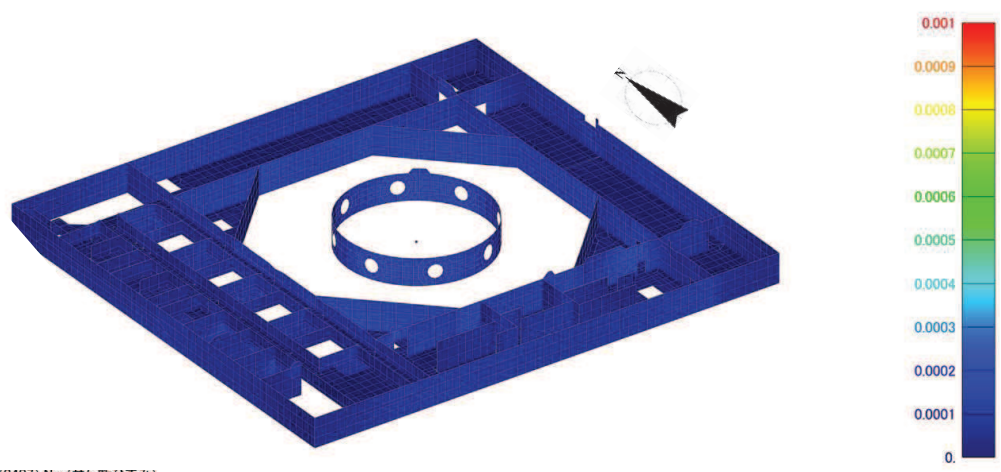
Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0497)_Nxy(せん断ひずみ)

図 2-24 面内せん断ひずみコンター図 (地下 2 階) 北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311),Nxy(せん断ひずみ)

図 2-25 面内せん断ひずみコンター図 (地下 2 階) 南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407),Nxy(せん断ひずみ)

図 2-26 面内せん断ひずみコンター図 (地下 2 階) 南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

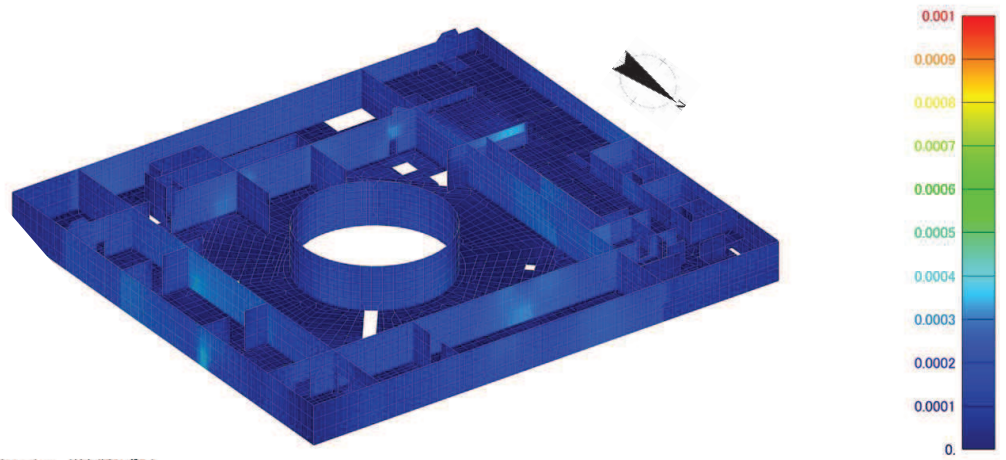


図 2-27 面内せん断ひずみコンター図（地下 1 階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

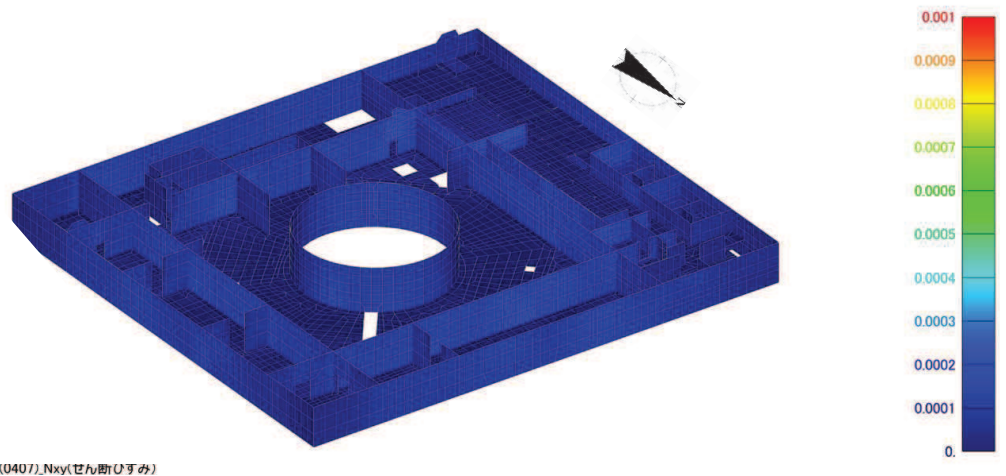
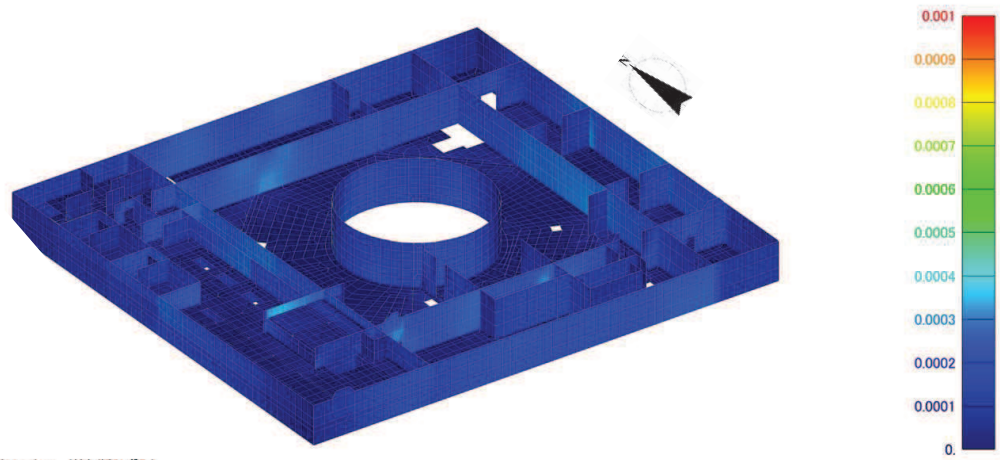
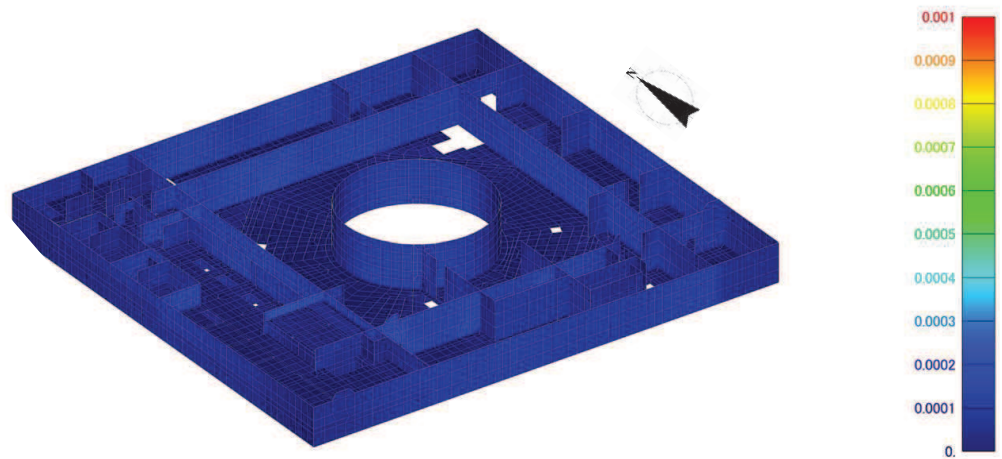


図 2-28 面内せん断ひずみコンター図（地下 1 階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-29 面内せん断ひずみコンター図（地下 1 階）南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-30 面内せん断ひずみコンター図（地下 1 階）南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

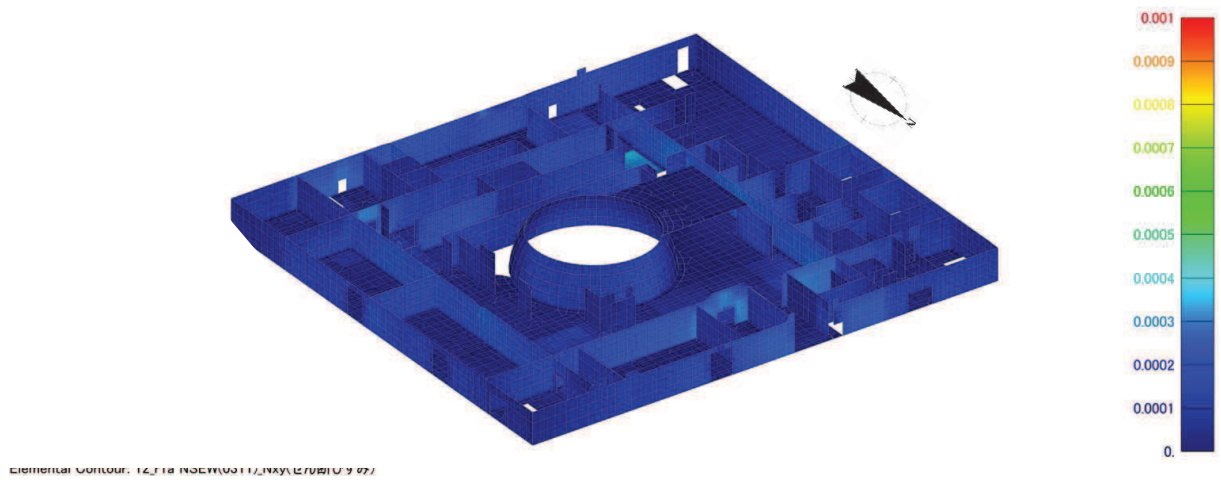


図 2-31 面内せん断ひずみコンター図（地上 1 階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

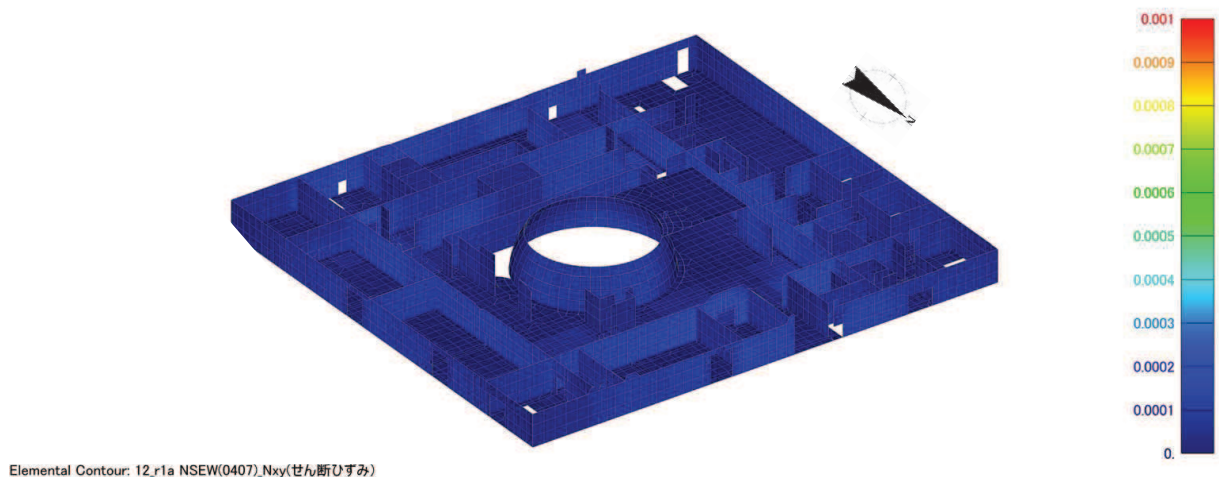
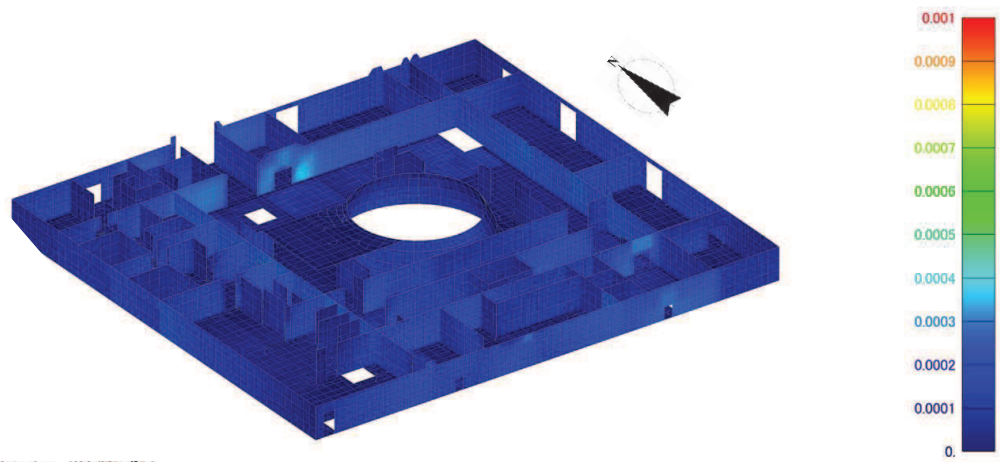
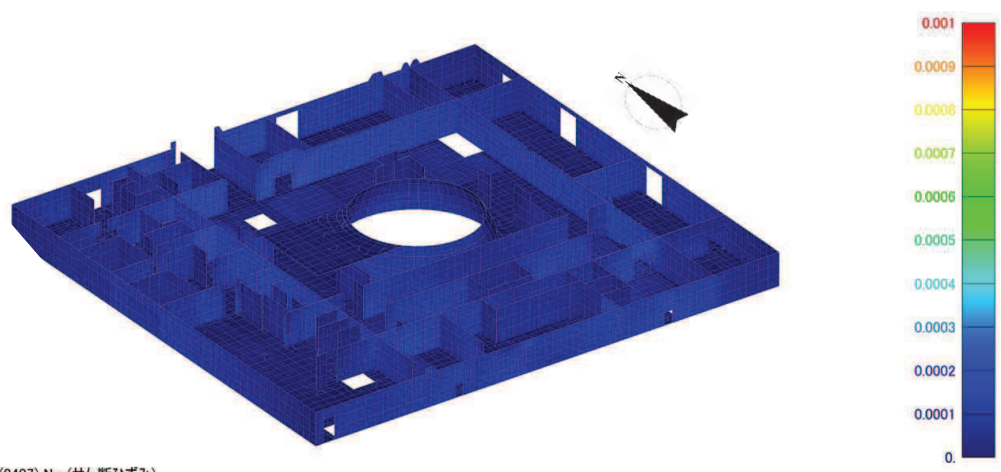


図 2-32 面内せん断ひずみコンター図（地上 1 階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0311).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-33 面内せん断ひずみコンター図 (地上 1 階) 南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力



Elemental Contour: 12_r1a NSEW(0407).Nxy(せん断ひずみ)

図 2-34 面内せん断ひずみコンター図 (地上 1 階) 南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

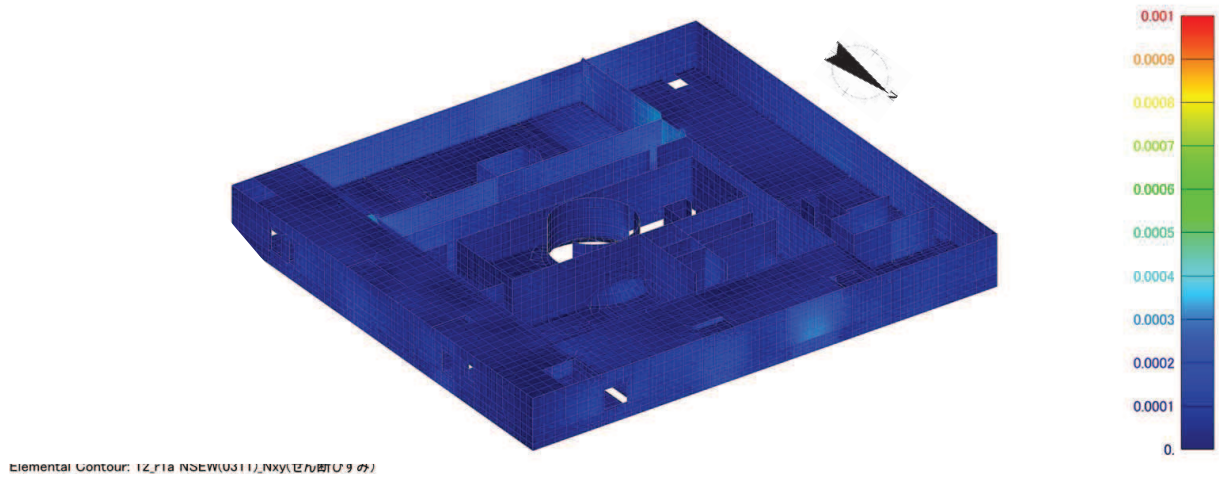


図 2-35 面内せん断ひずみコンター図（地上 2 階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

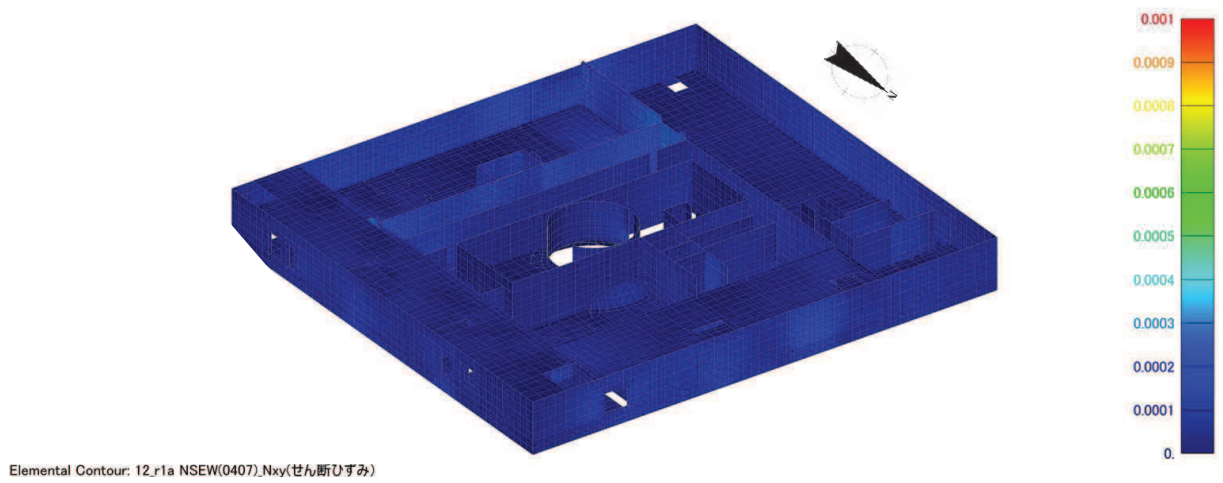


図 2-36 面内せん断ひずみコンター図（地上 2 階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

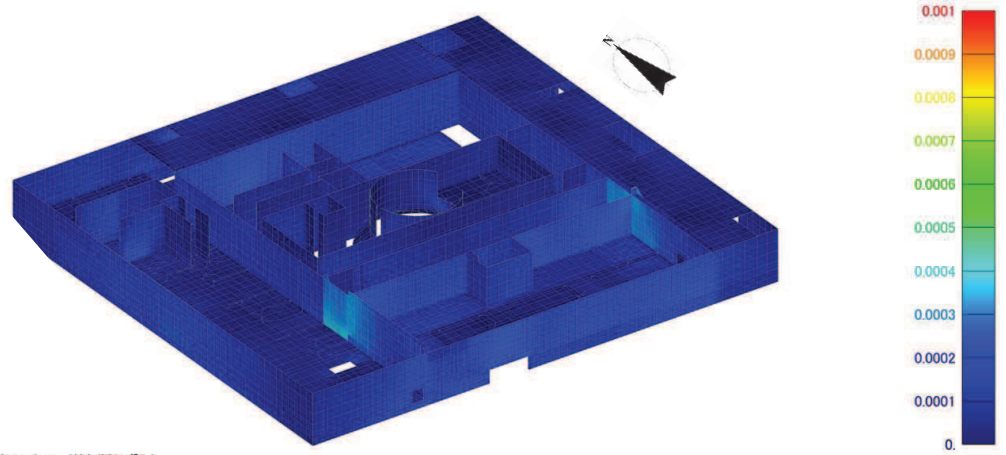


図 2-37 面内せん断ひずみコンター図（地上 2 階）南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

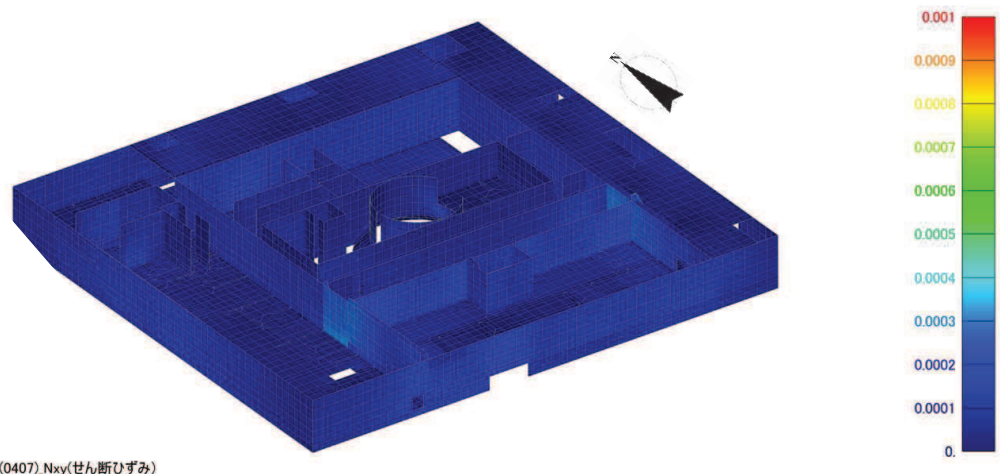


図 2-38 面内せん断ひずみコンター図（地上 2 階）南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

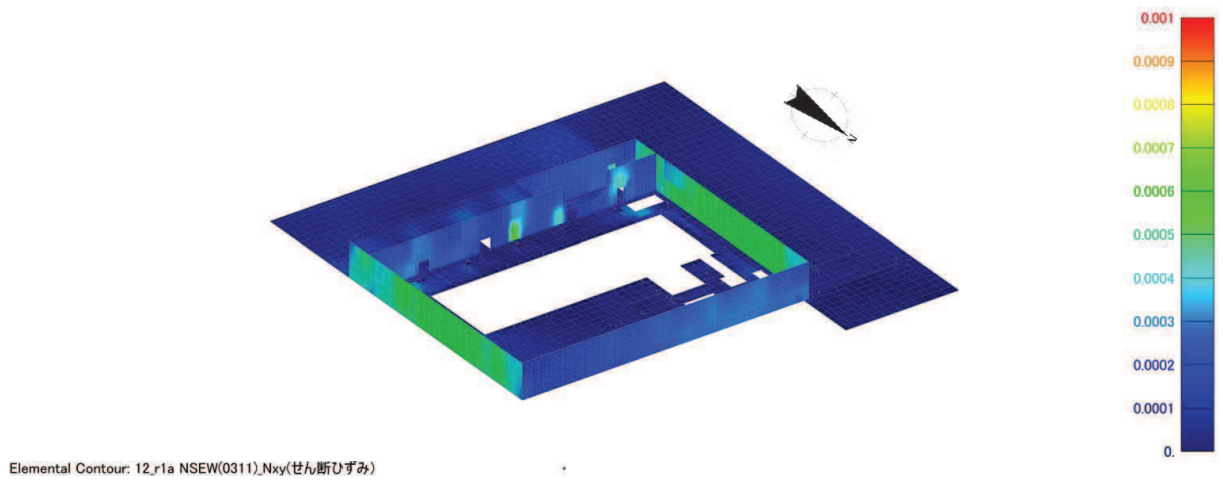


図 2-39 面内せん断ひずみコンター図（地上 3 階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

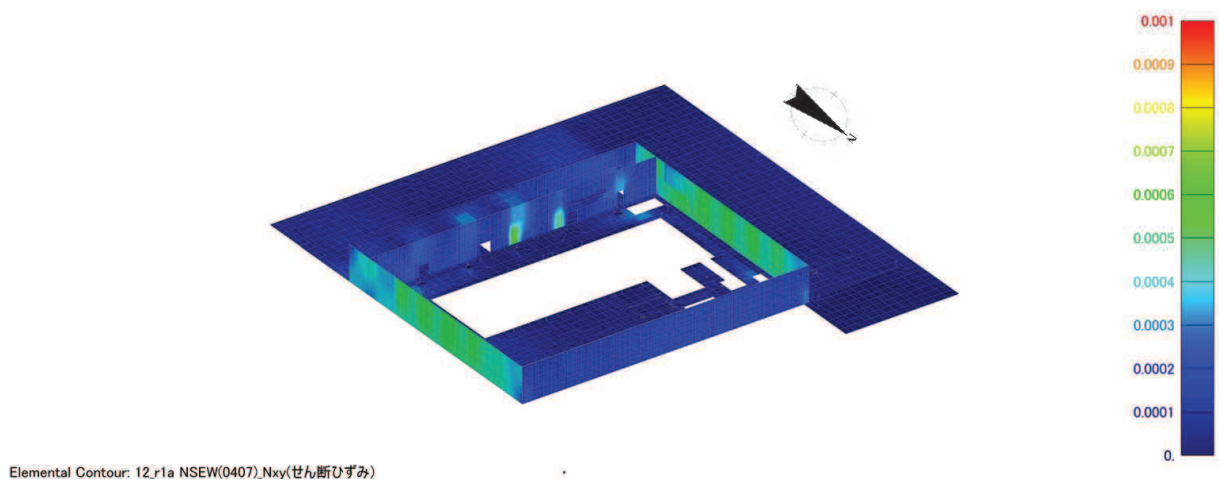


図 2-40 面内せん断ひずみコンター図（地上 3 階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

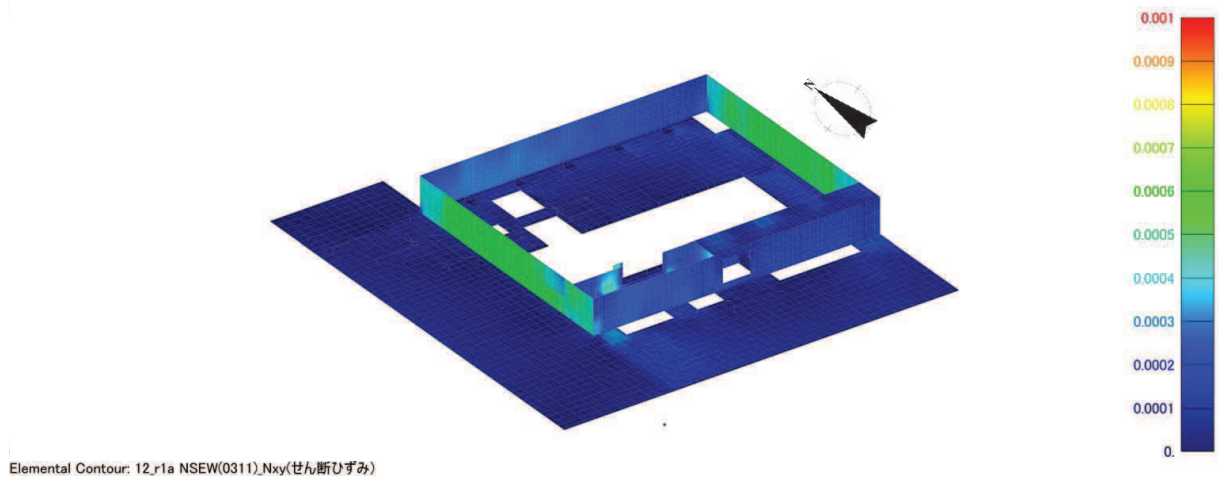


図 2-41 面内せん断ひずみコンター図（地上 3 階）南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

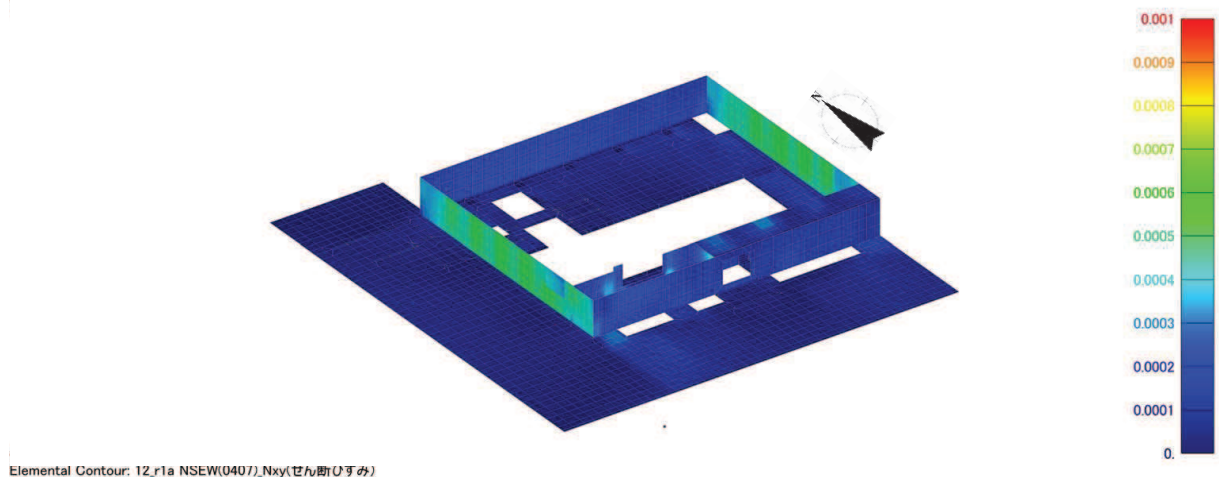


図 2-42 面内せん断ひずみコンター図（地上 3 階）南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

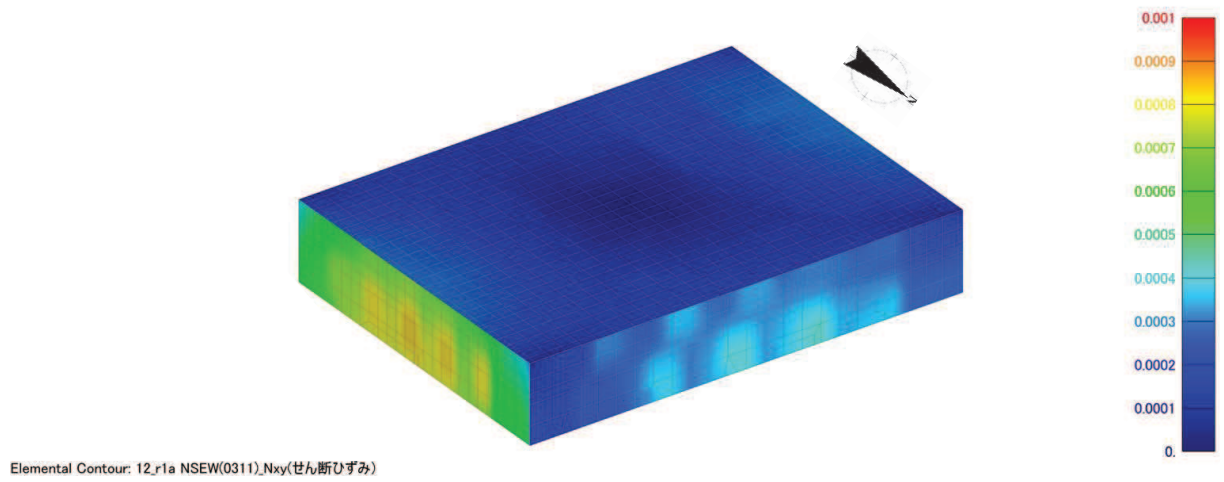


図 2-43 面内せん断ひずみコンター図（屋上階）北東面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

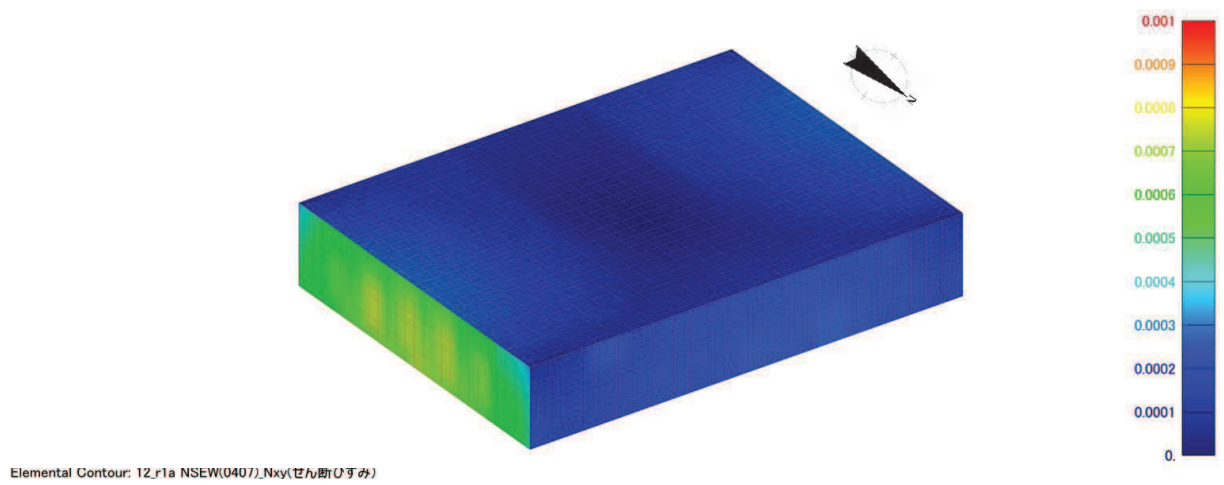


図 2-44 面内せん断ひずみコンター図（屋上階）北東面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

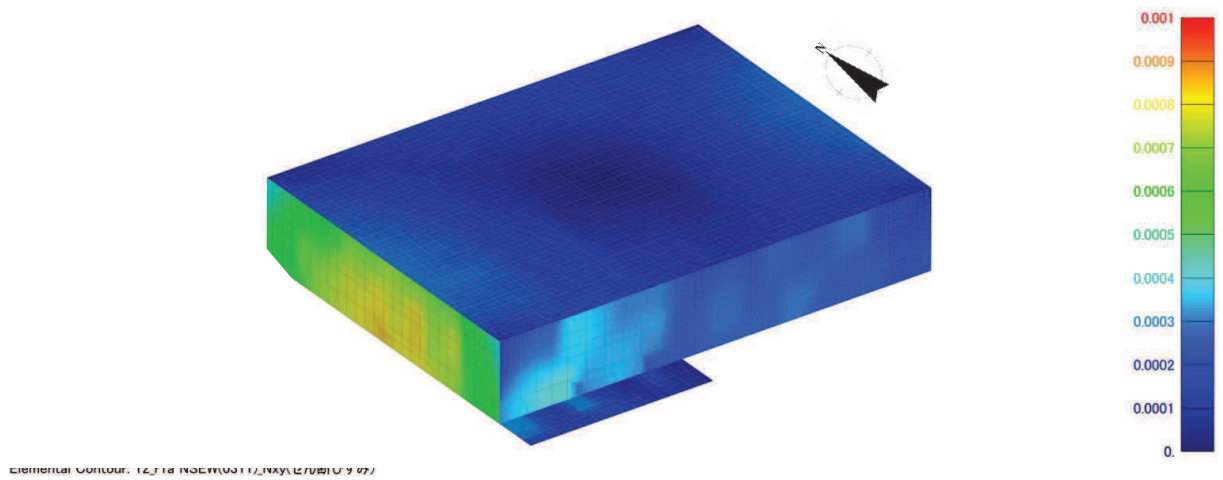


図 2-45 面内せん断ひずみコンター図（屋上階）南西面
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

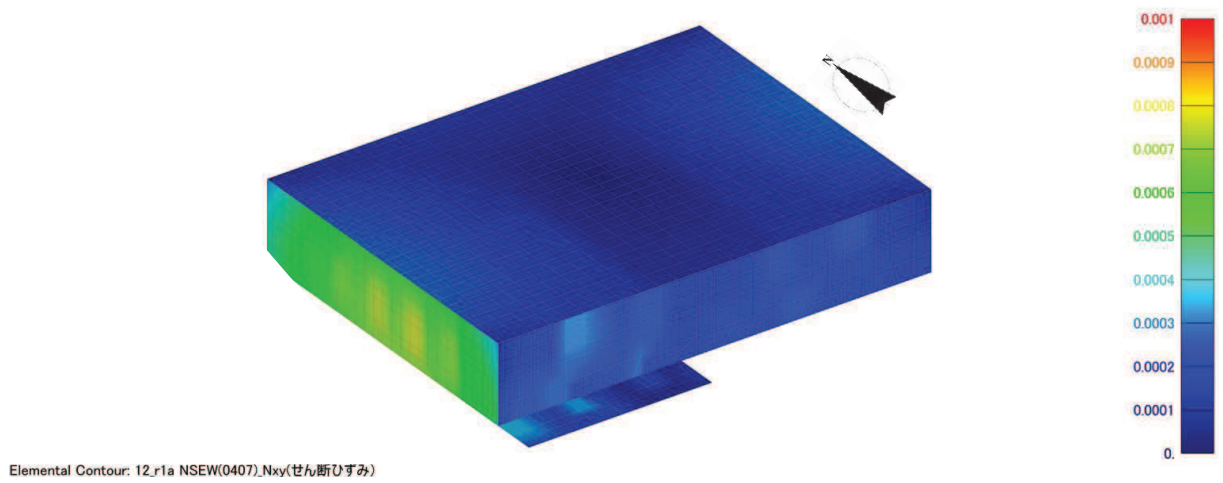


図 2-46 面内せん断ひずみコンター図（屋上階）南西面
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

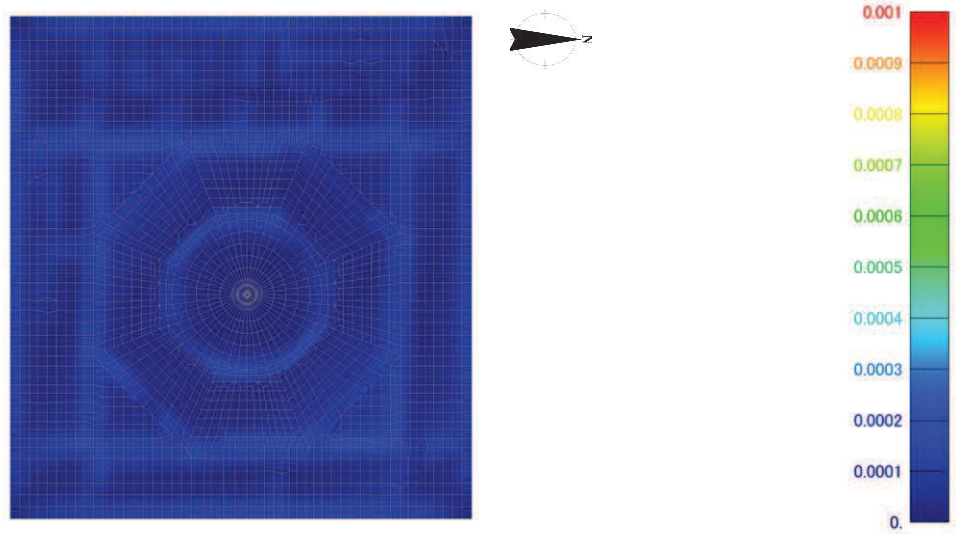


図 2-47 面内せん断ひずみコンター図（基礎版）
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力

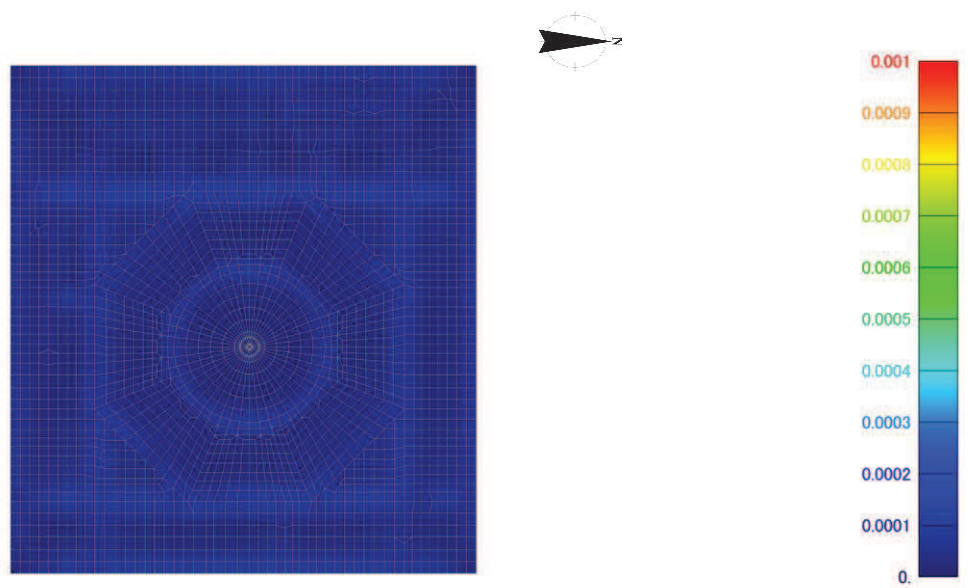


図 2-48 面内せん断ひずみコンター図（基礎版）
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力

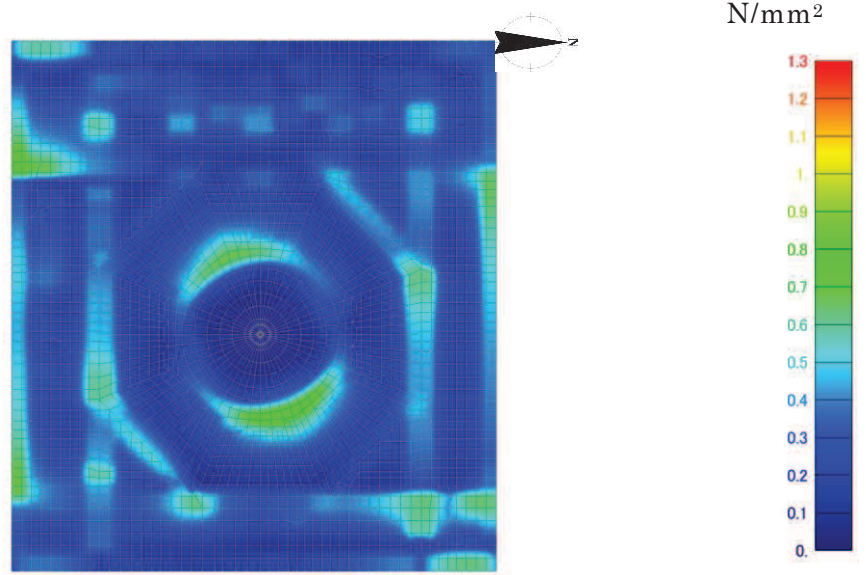


図 2-49 面外せん断応力度コンター図（基礎版）
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力（東西断面）

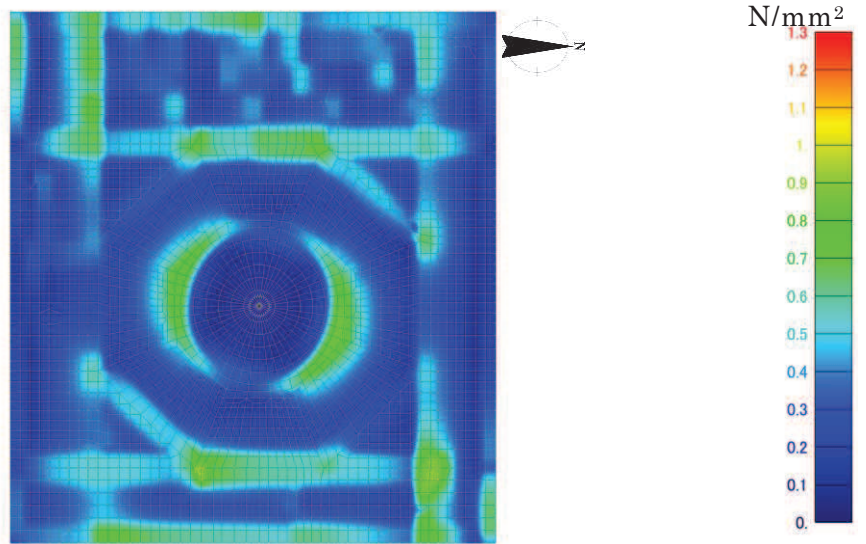


図 2-50 面外せん断応力度コンター図（基礎版）
3.11 地震観測記録・NS, EW 入力（南北断面）

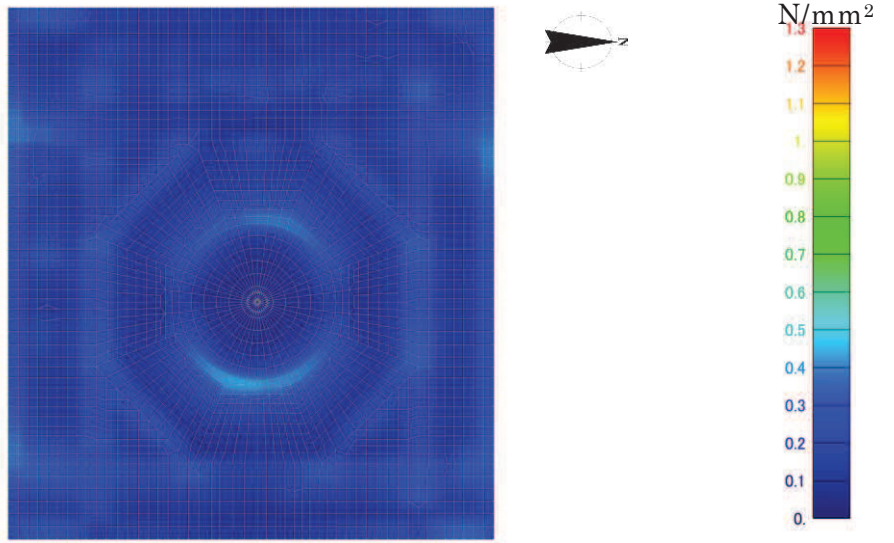


図 2-51 面外せん断応力度コンター図（基礎版）
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力（東西断面）

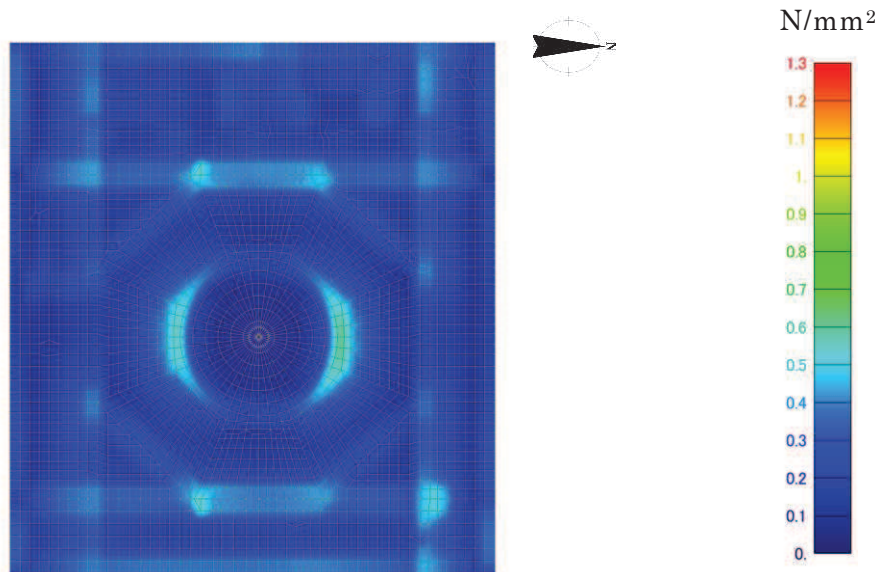


図 2-52 面外せん断応力度コンター図（基礎版）
4.7 地震観測記録・NS, EW 入力（南北断面）

2.2.5 地震による建屋の構造的影響評価

(1) 耐震壁，はり，柱，床スラブ

耐震壁，はり，柱，床スラブの面内せん断ひずみ分布において，せん断ひずみが最も大きい傾向を示すのはオペフロ上部の東面と西面の耐震壁であり，解析モデルの最大値は 0.83×10^{-3} である。オペフロ上部の耐震壁については，別途3次元FEM非線形モデルによる検討（別紙6参照）により，鉄筋が弾性範囲であったことを確認している。

その他の部材では，部分的に耐震壁の一部でせん断ひび割れの目安値を超える箇所はあるものの，最大でもオペフロ上部のひずみの半分程度であり，鉄筋の健全性は確保されているものと判断される。

床スラブの面内せん断ひずみは基本的にはせん断ひび割れ発生の目安値以下であり，鉄筋の健全性は確保されているものと判断される。

(2) 基礎版

基礎版に生じる面内せん断ひずみについては，耐震壁付近が若干大きいですが，全体的にはひび割れが入る目安値以下となっている。面外力についても，耐震壁付近が若干大きいですが，全体的にはひび割れが入る目安値以下となっており，鉄筋損傷に至るレベルには至っていない。

上記より，鉄筋の健全性は確保されているものと判断される。

3. 評価結果のまとめ

3次元FEM等価線形モデルによる地震応答シミュレーション解析を行い、3.11地震及び4.7地震時の建屋の構造的影響評価を行った。検討結果は以下のとおりである。

- ① 3次元FEM等価線形モデルによるシミュレーション解析結果は、観測記録と概ね整合することを確認した。
- ② 3次元FEM等価線形モデルによるシミュレーション解析に基づき算定したせん断ひずみ分布は耐震壁の点検結果と整合することを確認した。
- ③ 3次元FEM等価線形モデルによるひずみ分布の値や基礎版の面外応力の値、オペフロ上部の3次元FEM非線形解析（別途実施、別紙6参照）により、建屋の鉄筋が弾性範囲であることを確認した。従って、原子炉建屋の鉄筋が損傷を受けていないことを確認した。

[参考文献]

- (1) 女川原子力発電所における平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震時に取得された地震観測記録の分析及び津波の調査結果に係わる報告書
平成 23 年 4 月 7 日 東北電力株式会社
- (2) 女川原子力発電所における 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震時に取得された地震観測記録の分析結果に係わる報告書
平成 23 年 4 月 25 日 東北電力株式会社
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会, 1999)

別紙 5-1 3次元 FEM 等価線形モデルによるシミュレーション解析
と点検結果の比較

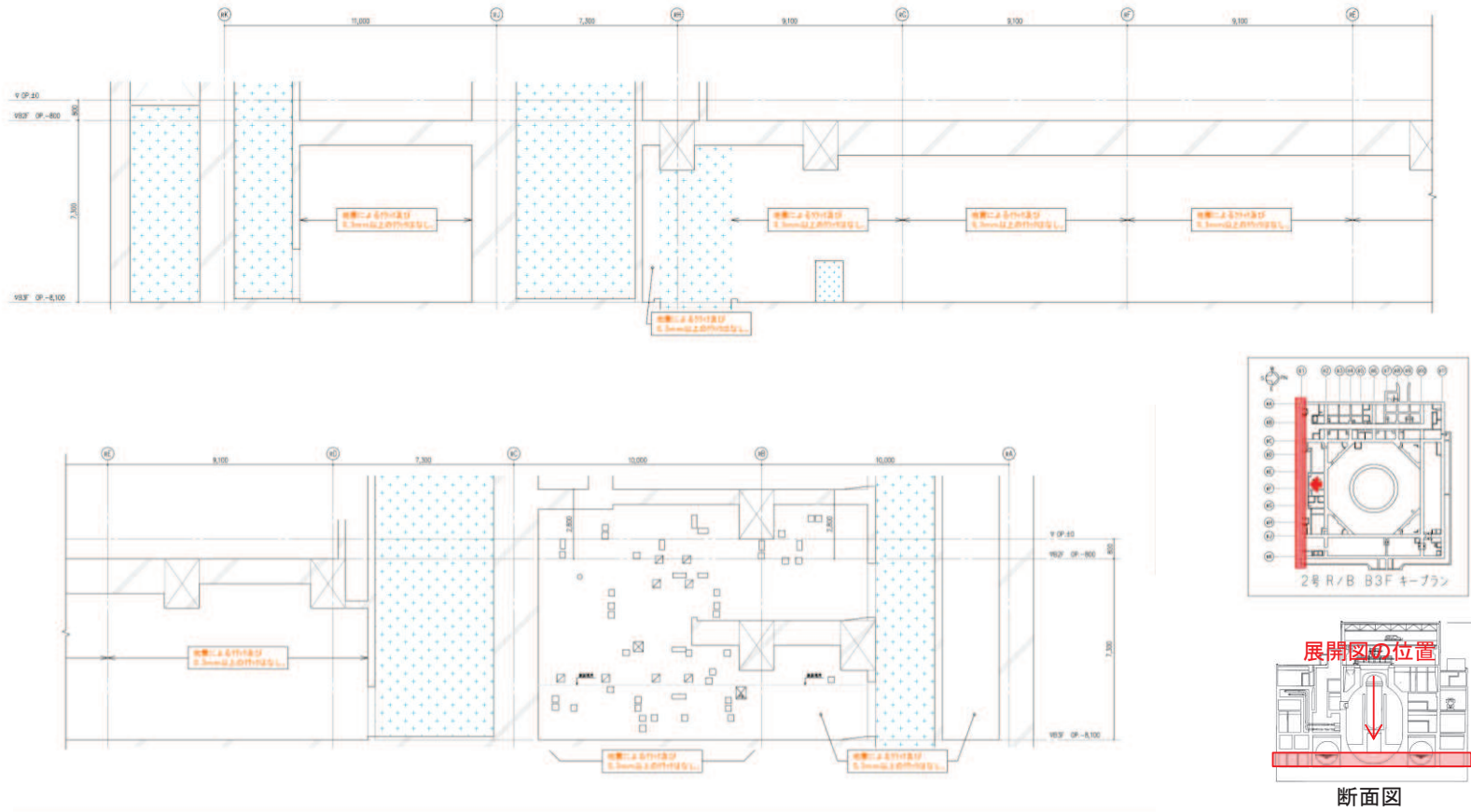
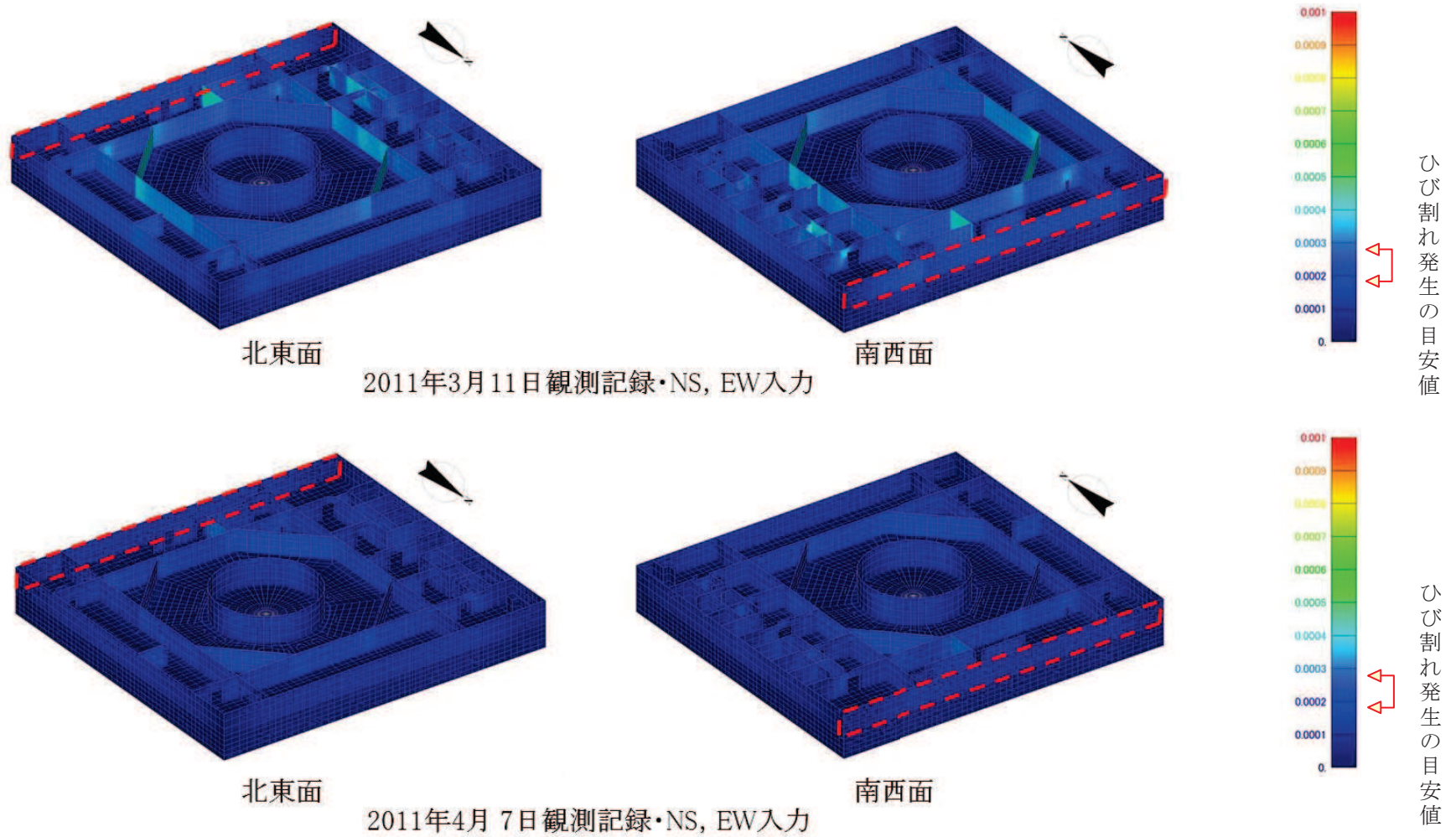
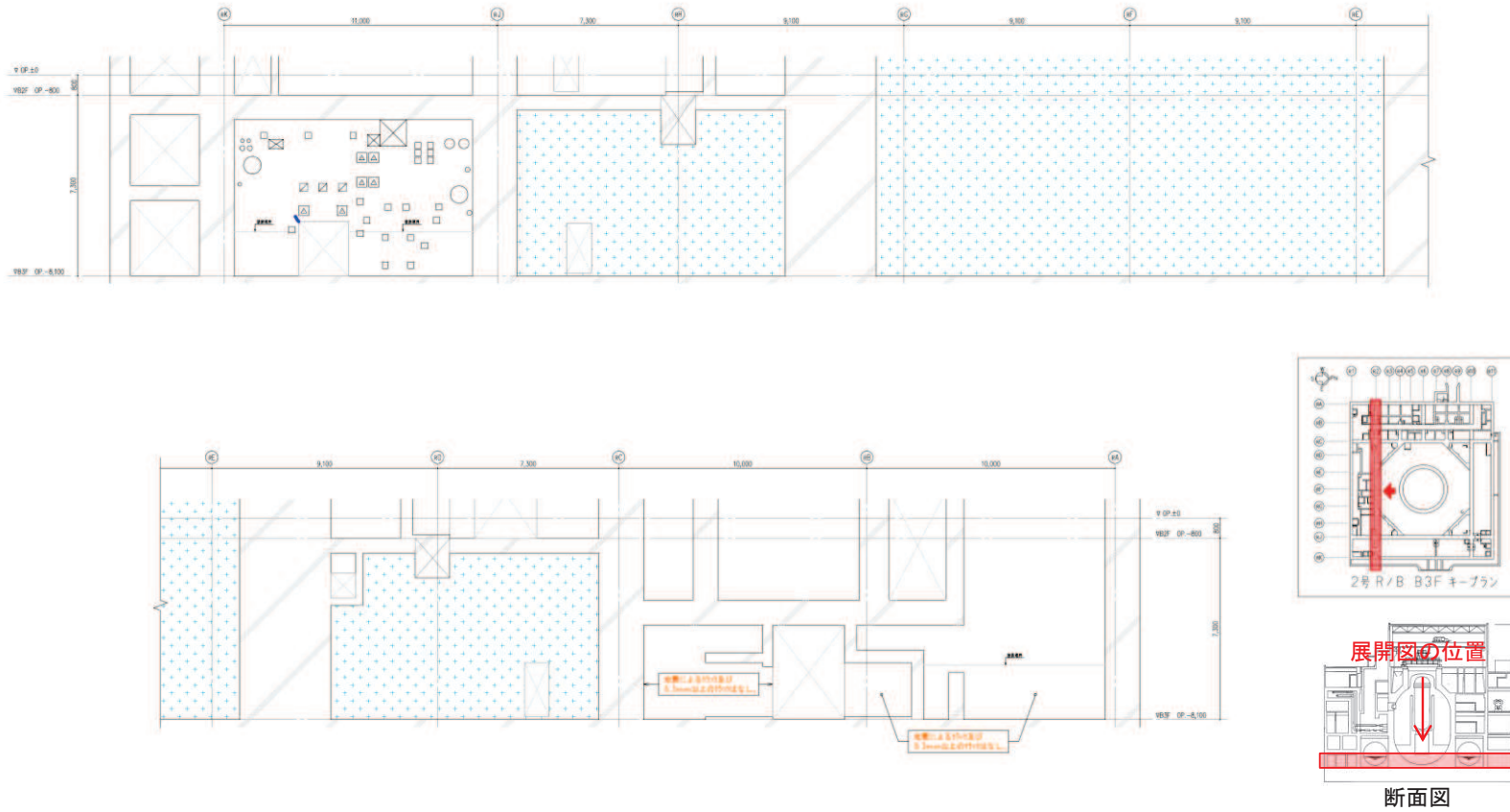


図 1 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 R1 通り)



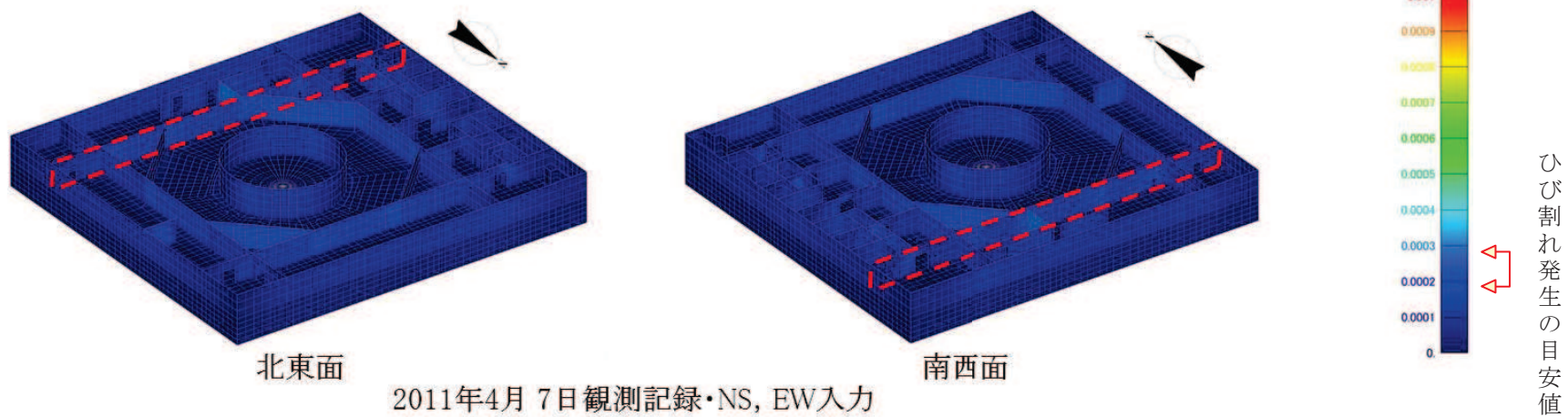
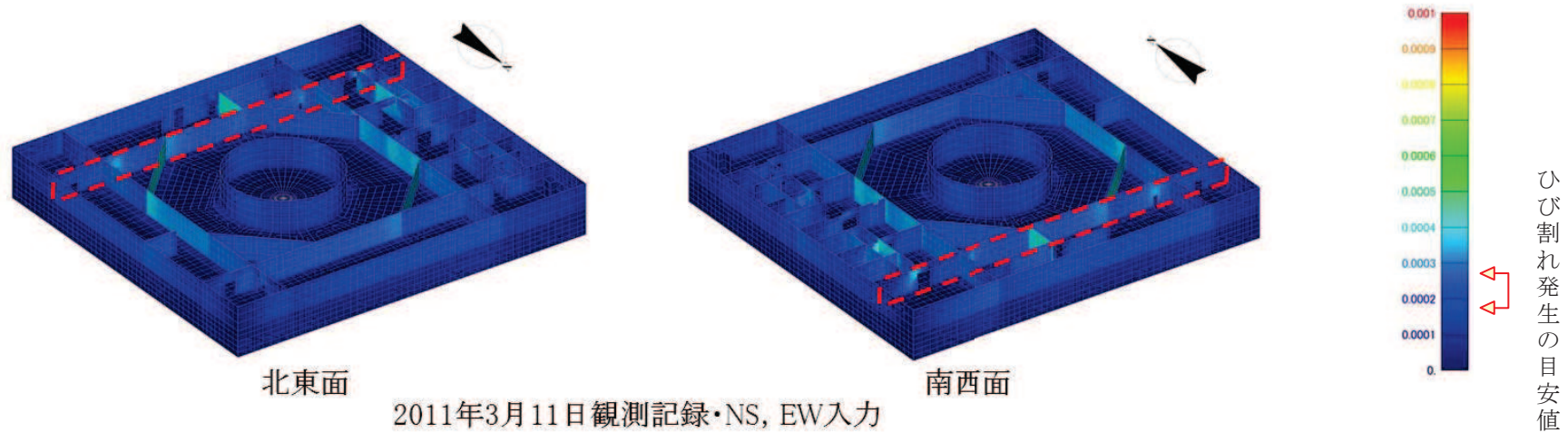
面内せん断ひずみコンター図

図 1 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 R1 通り)



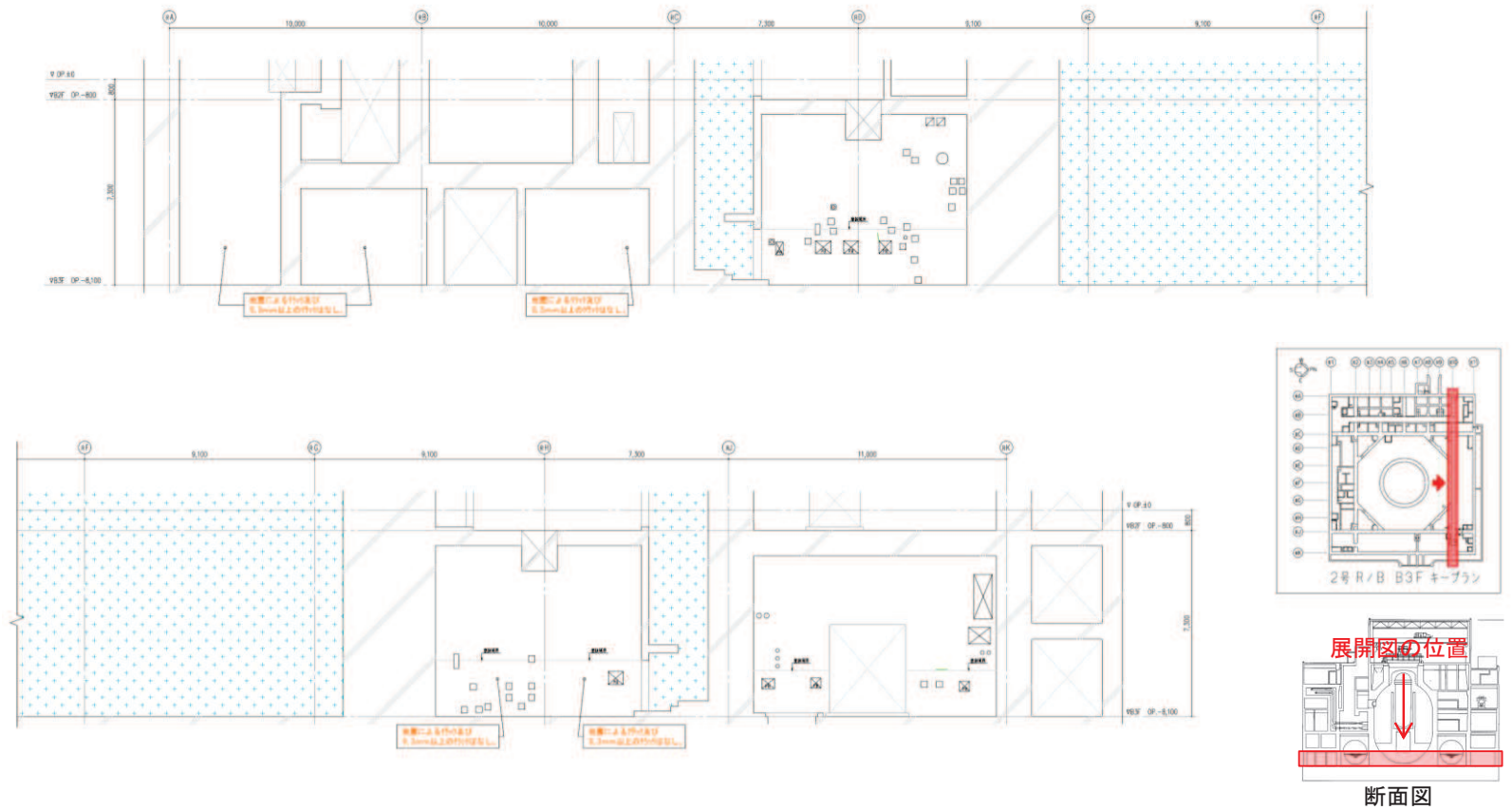
地震による		地震以外		
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上	はくらく
	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 2 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 R2 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 2 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 R2 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 3 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 R10 通り)

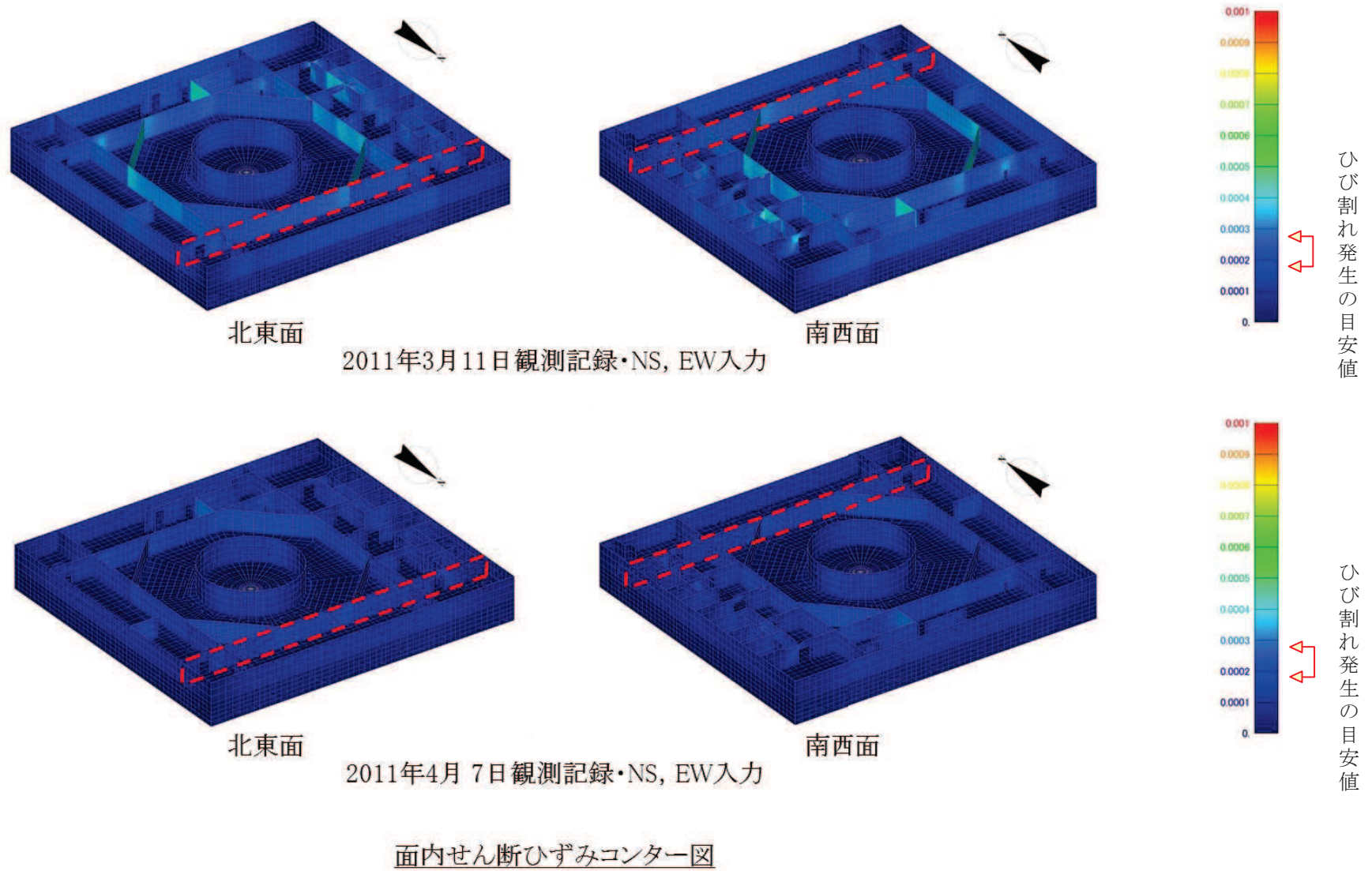
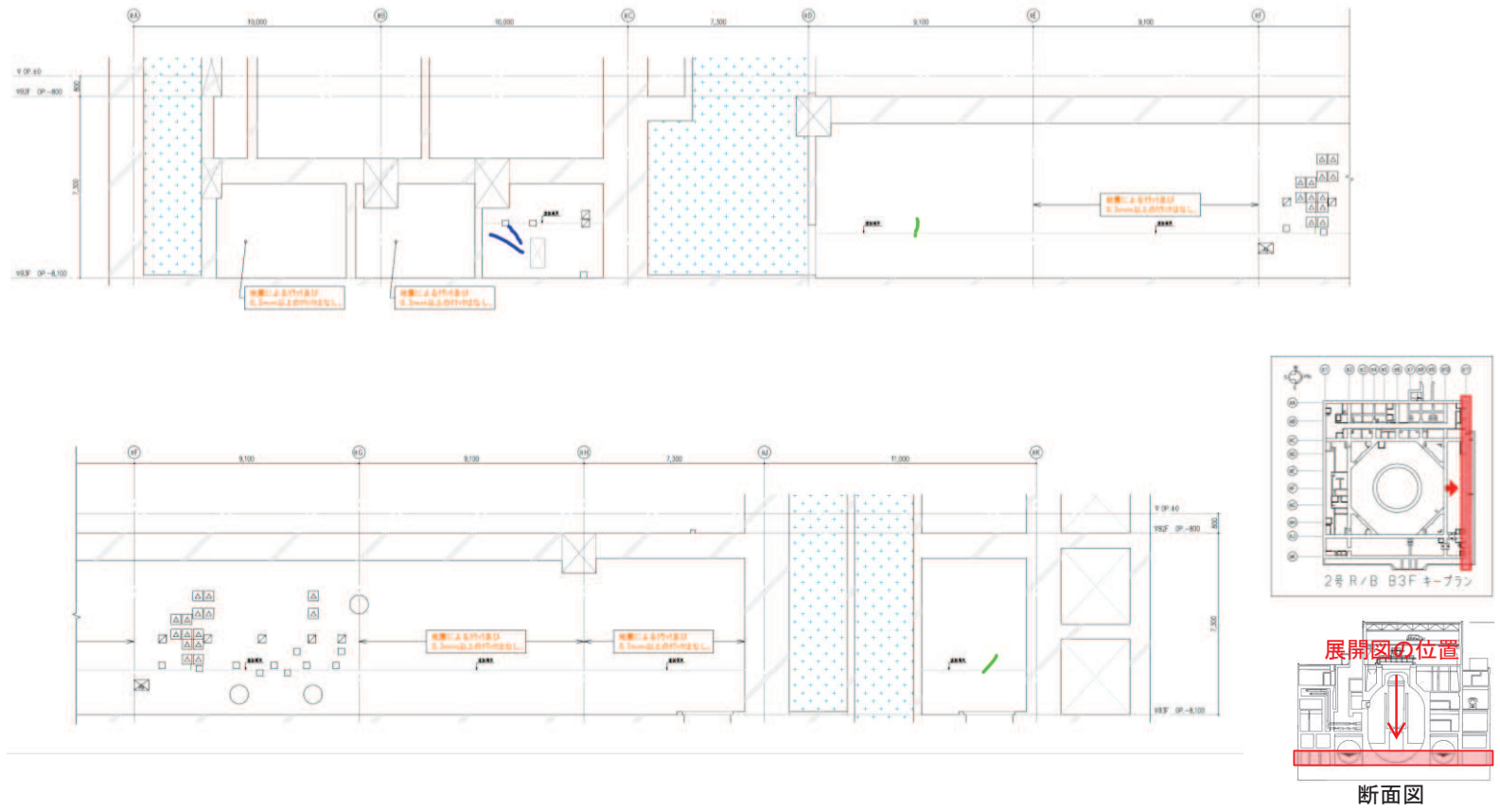
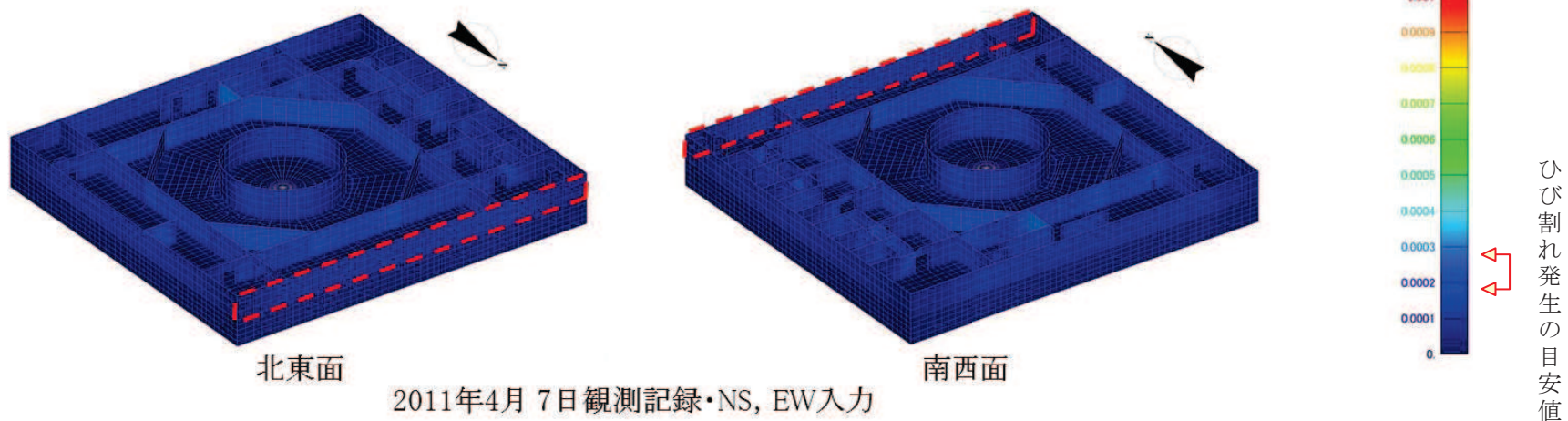
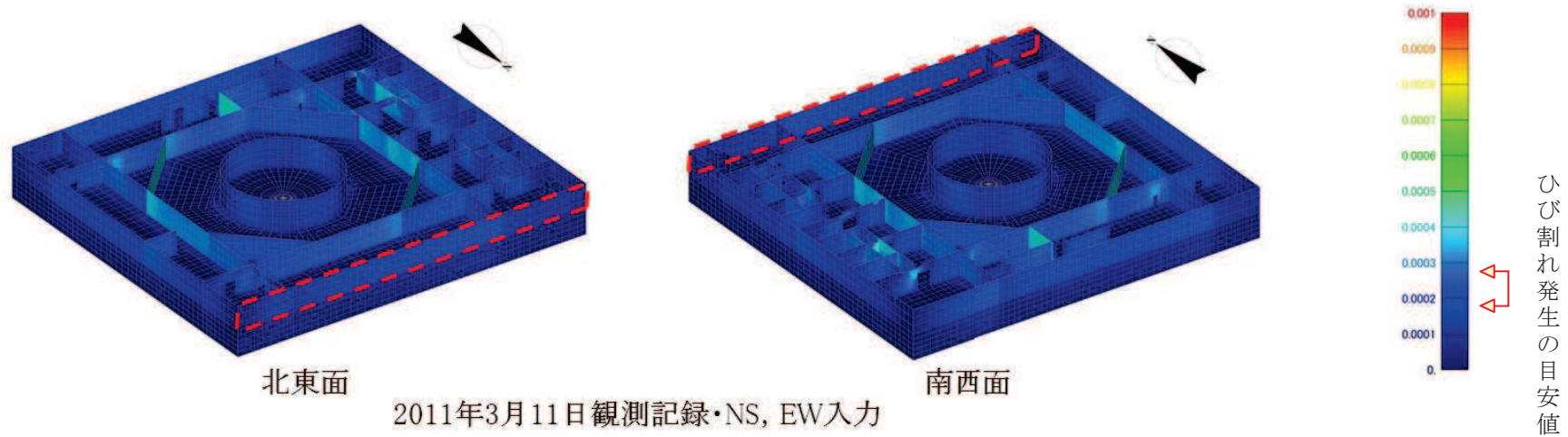


図 3 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 R10 通り)



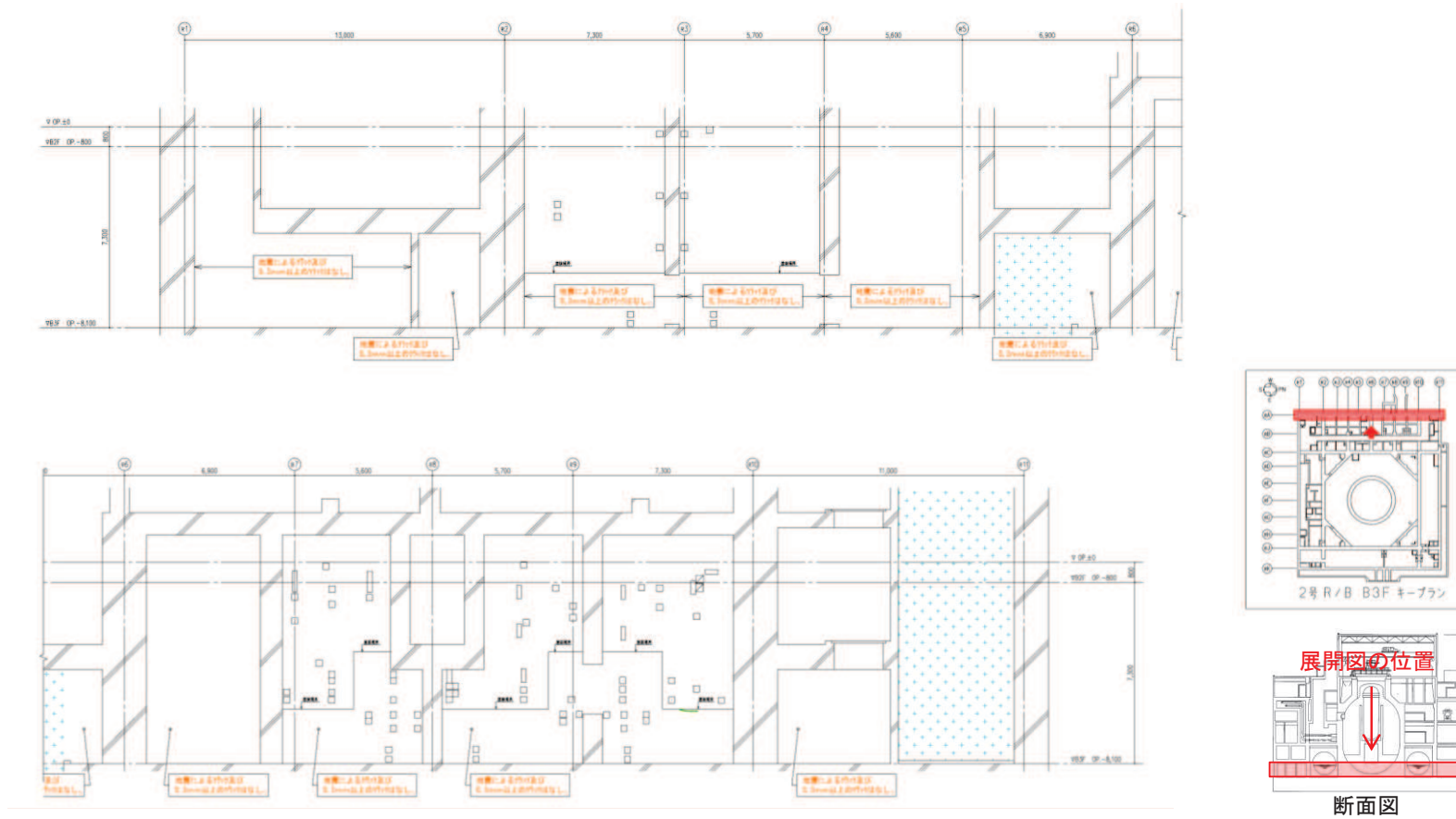
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上~1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上~1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+	確認不能の範囲	

図 4 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 R11 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 4 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 R11 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 5 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 RA 通り)

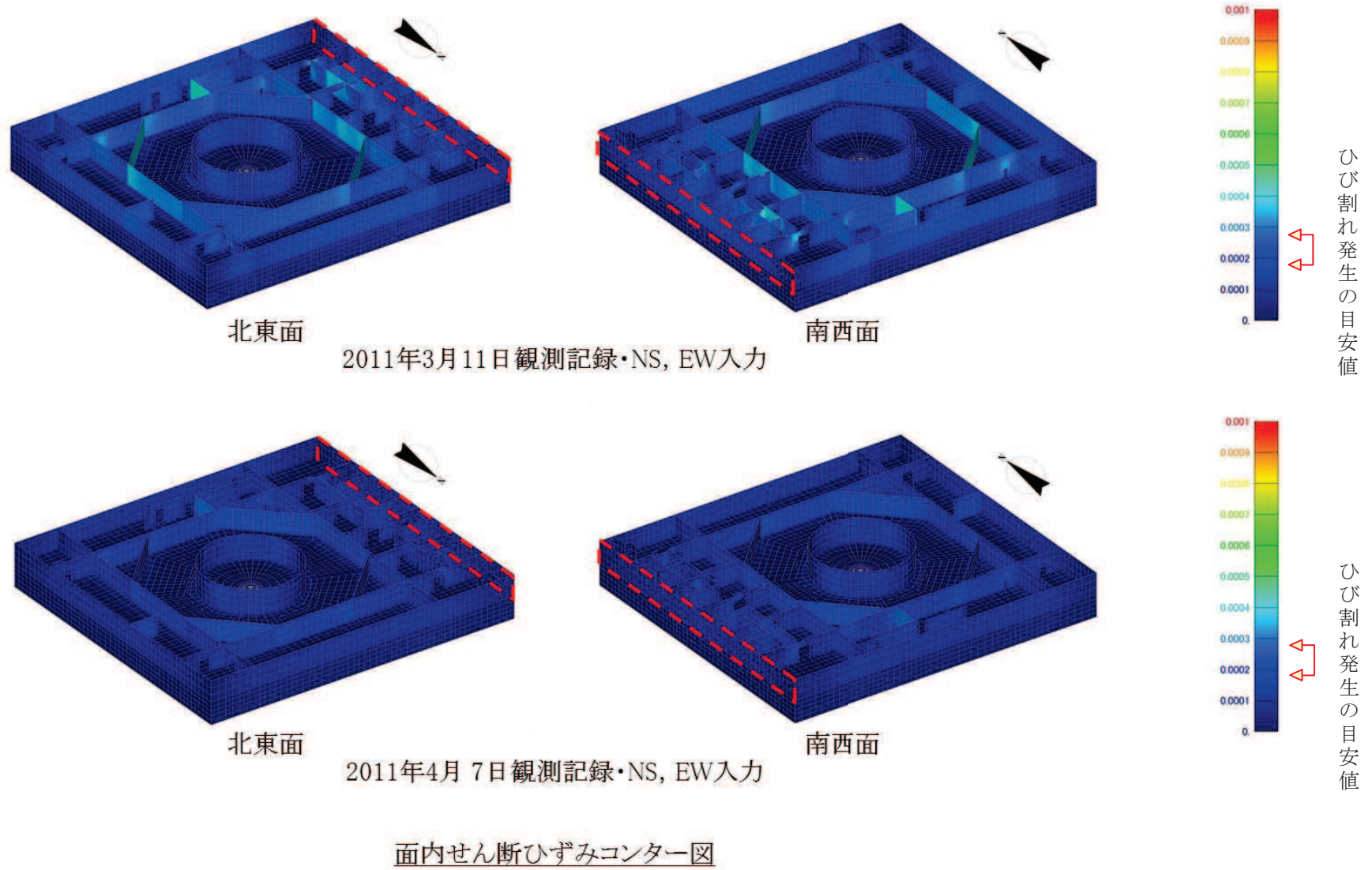
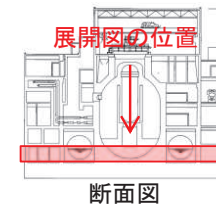
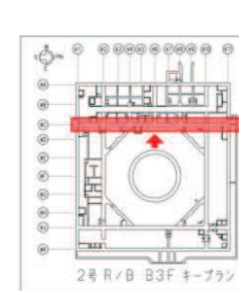
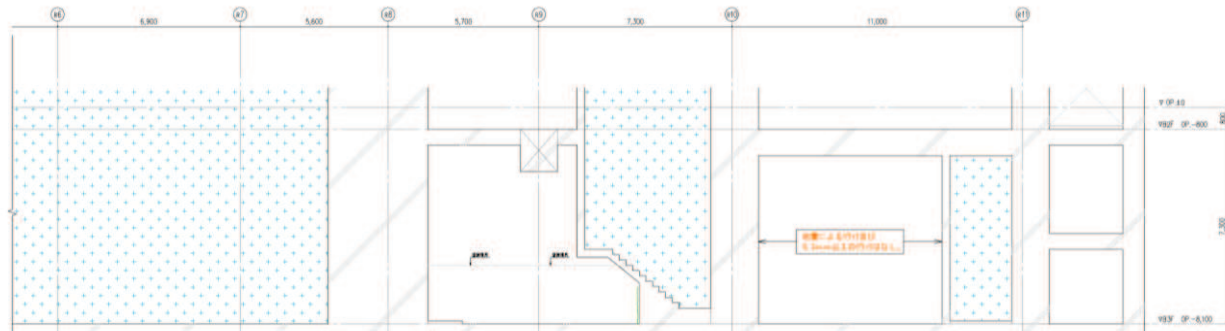
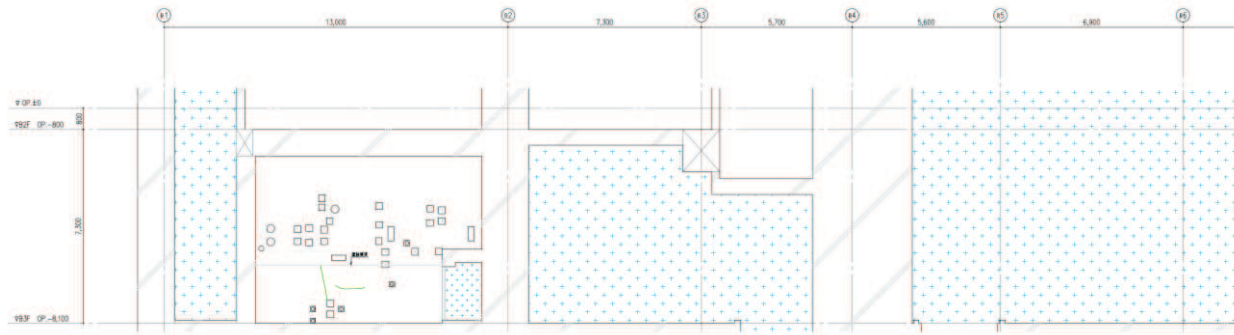
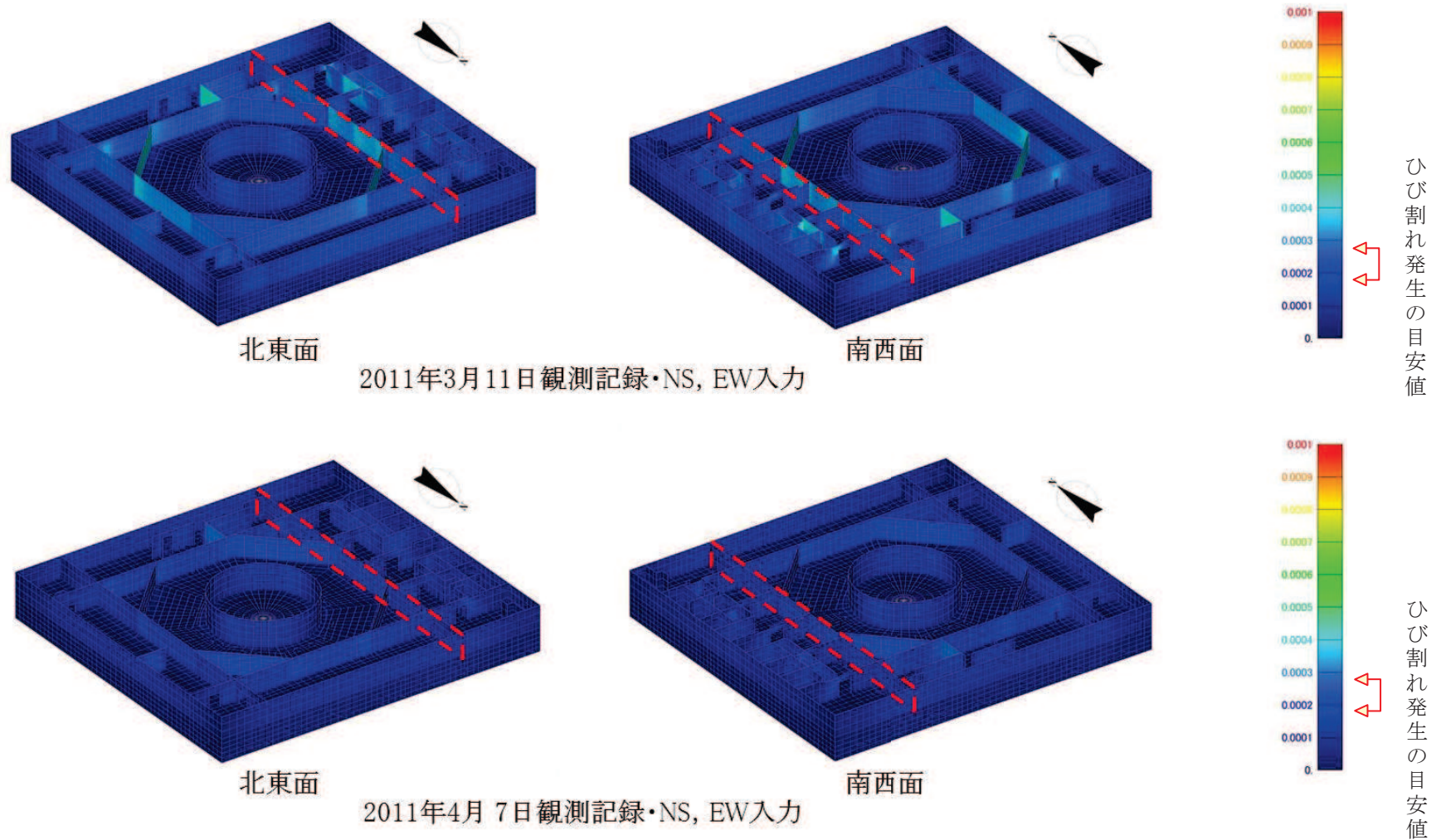


図 5 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 RA 通り)



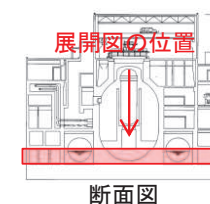
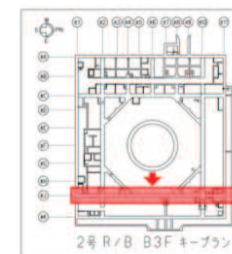
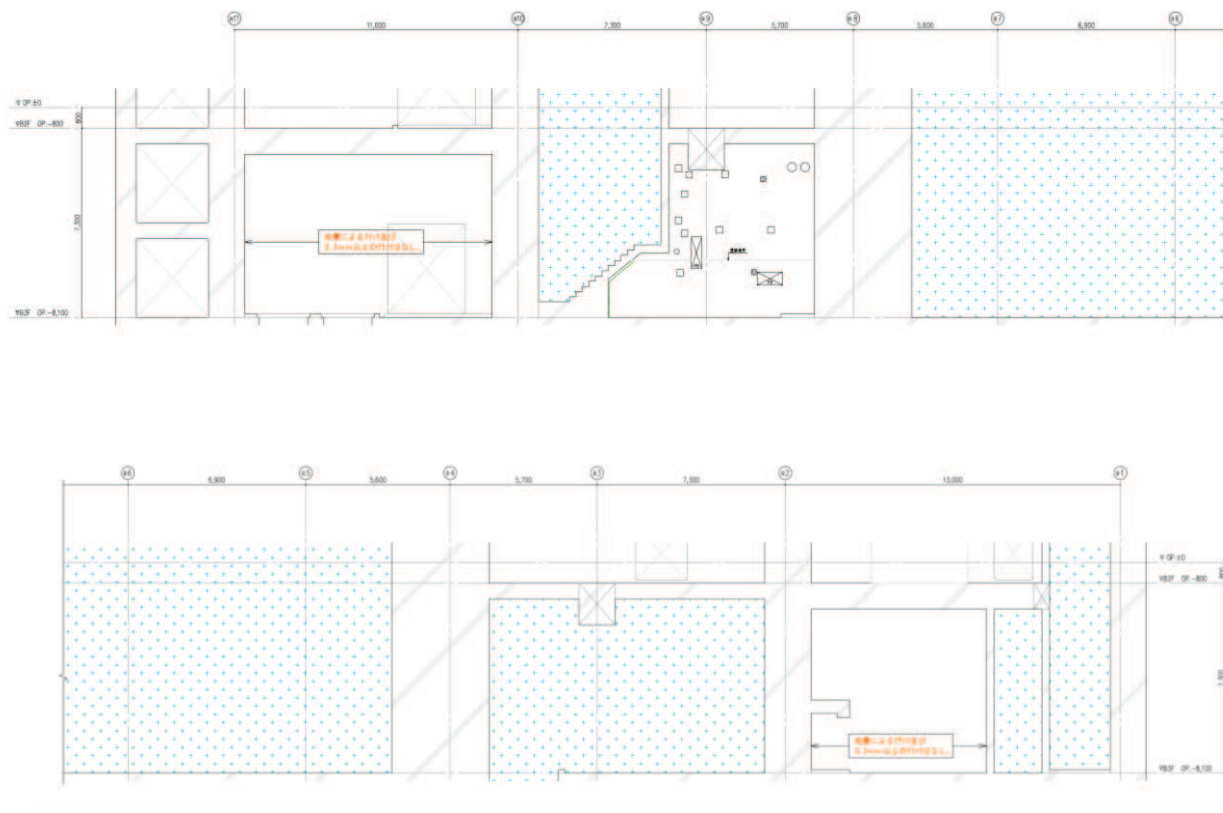
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 6 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 RC 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 6 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 RC 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 7 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 RJ 通り)

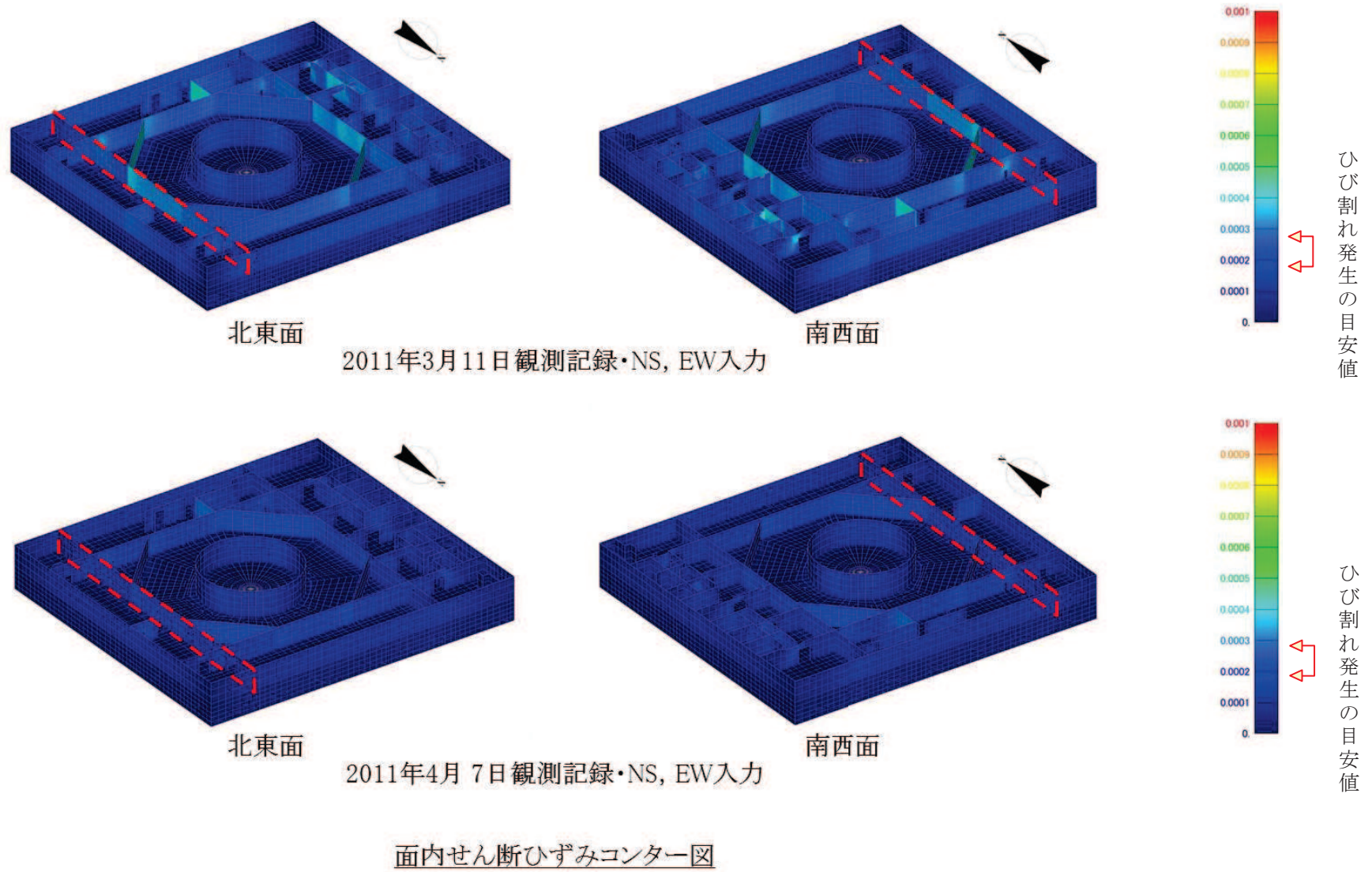
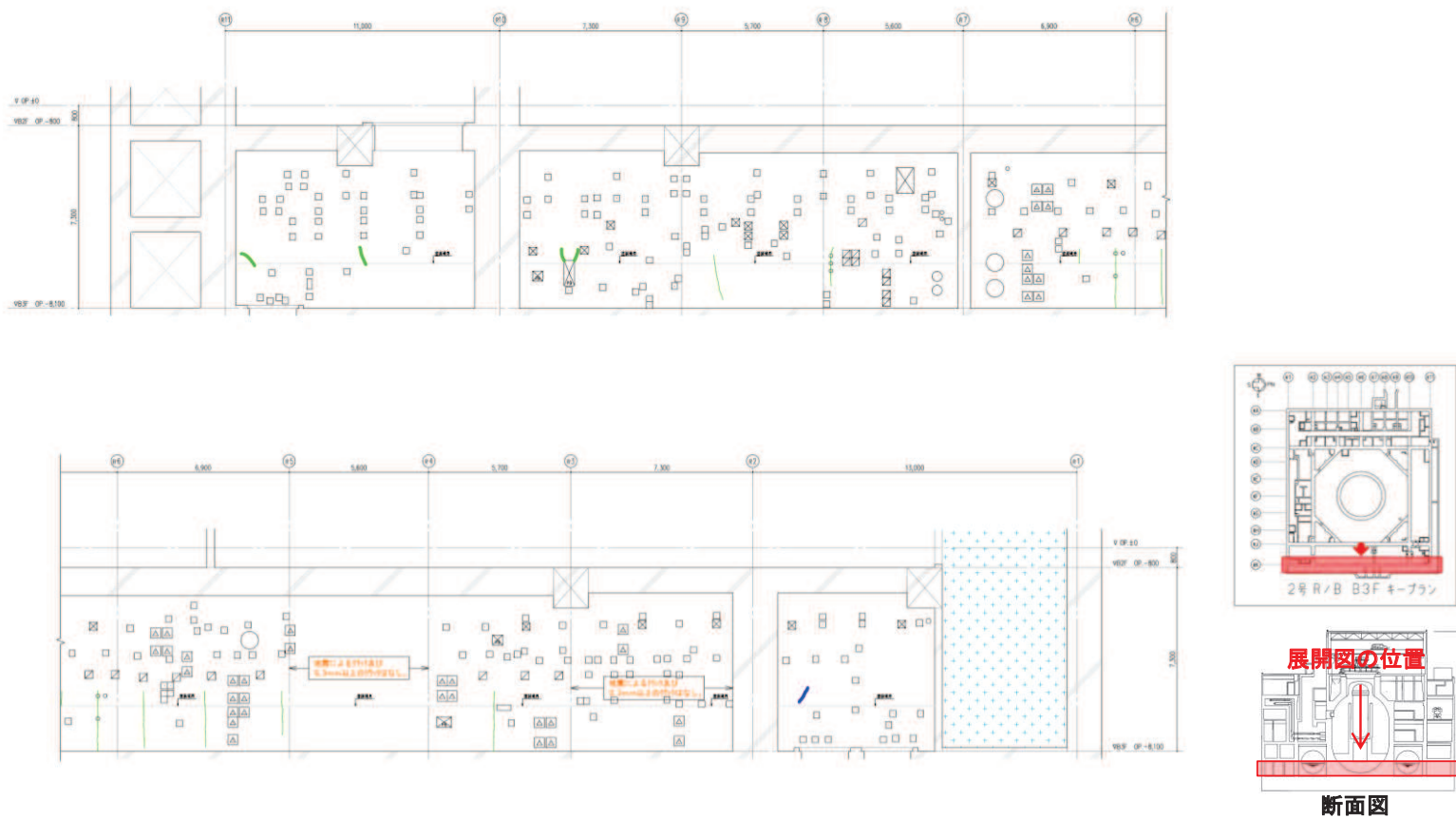


図 7 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 RJ 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 8 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 RK 通り)

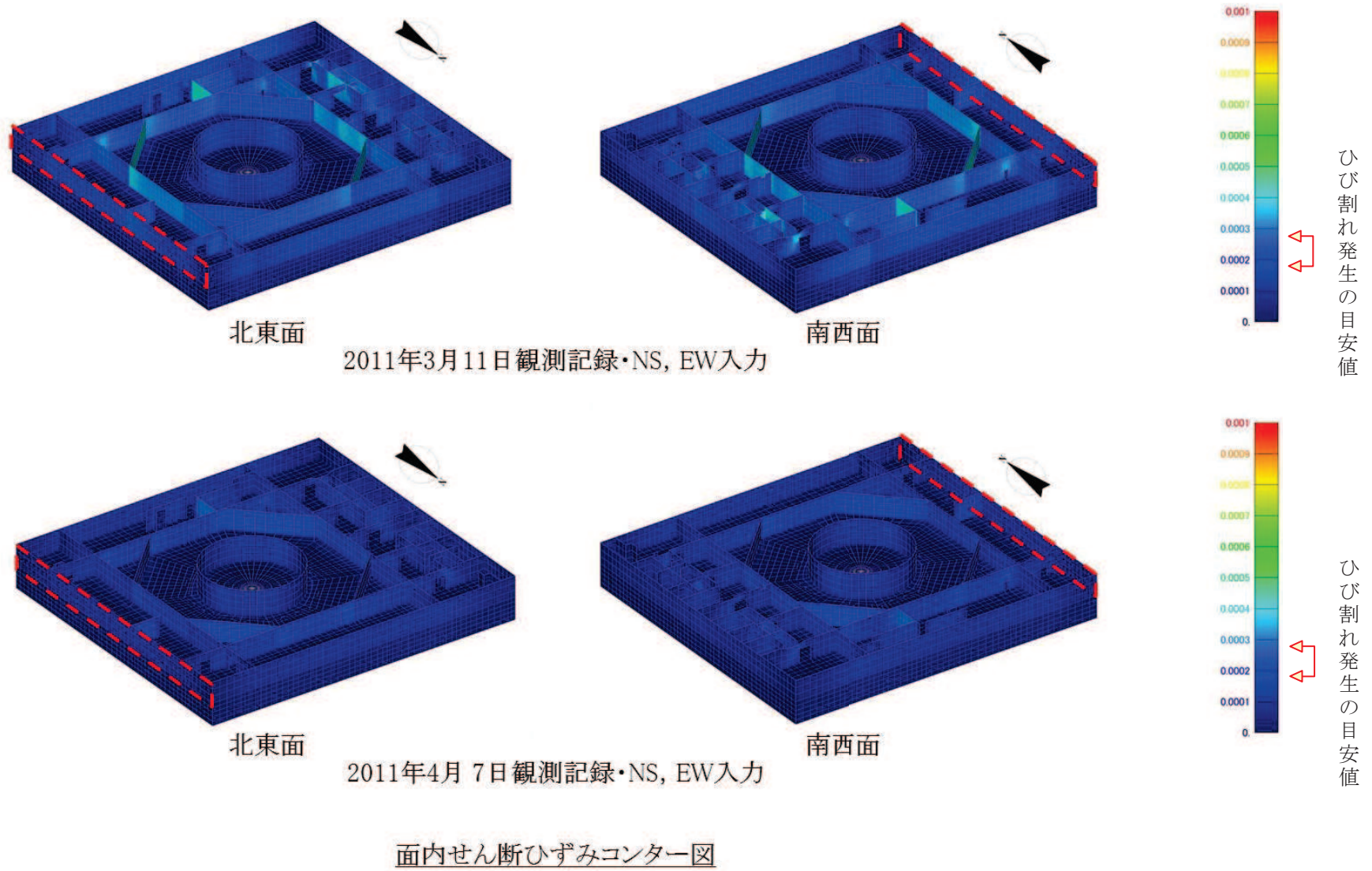
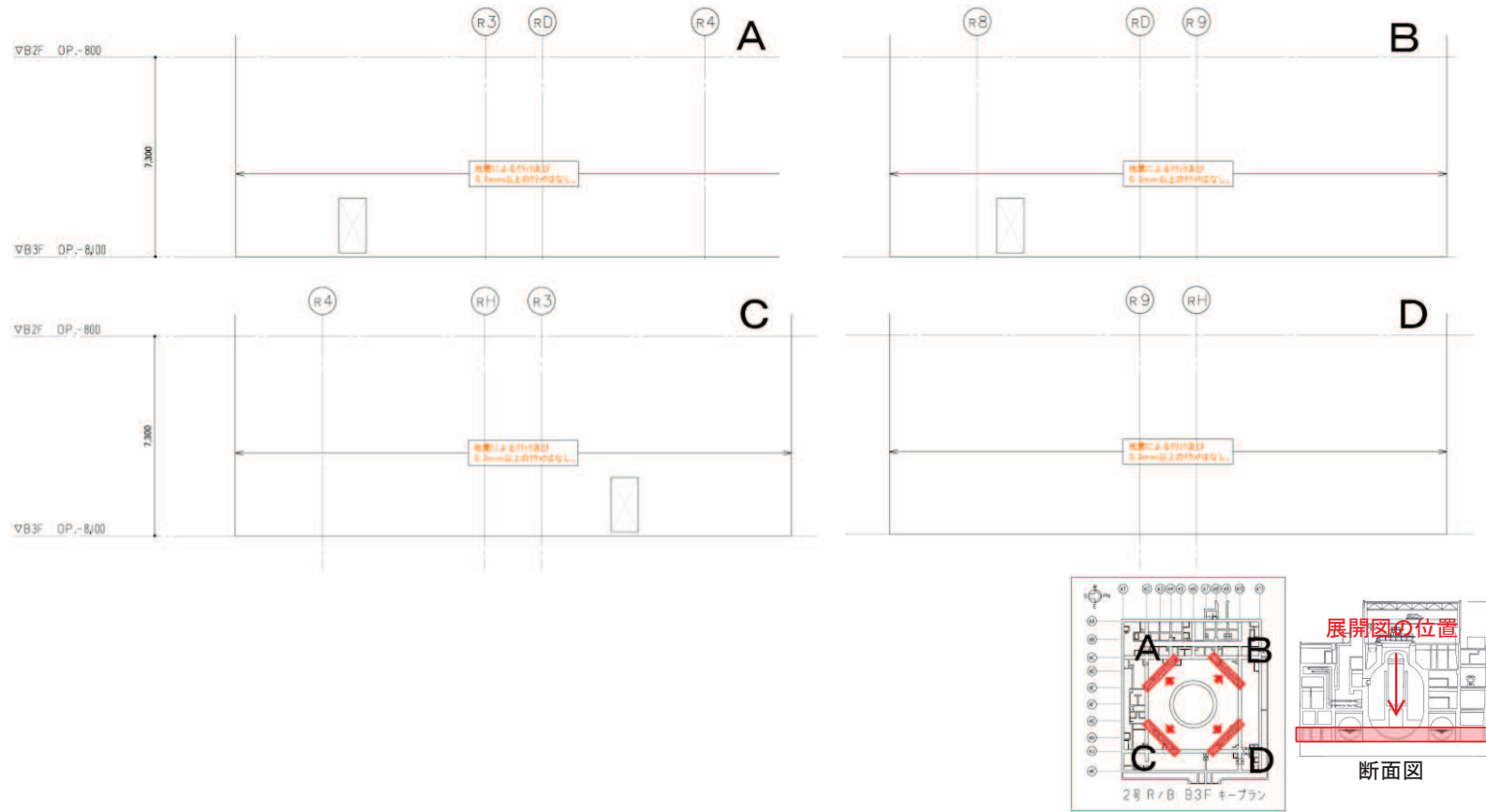
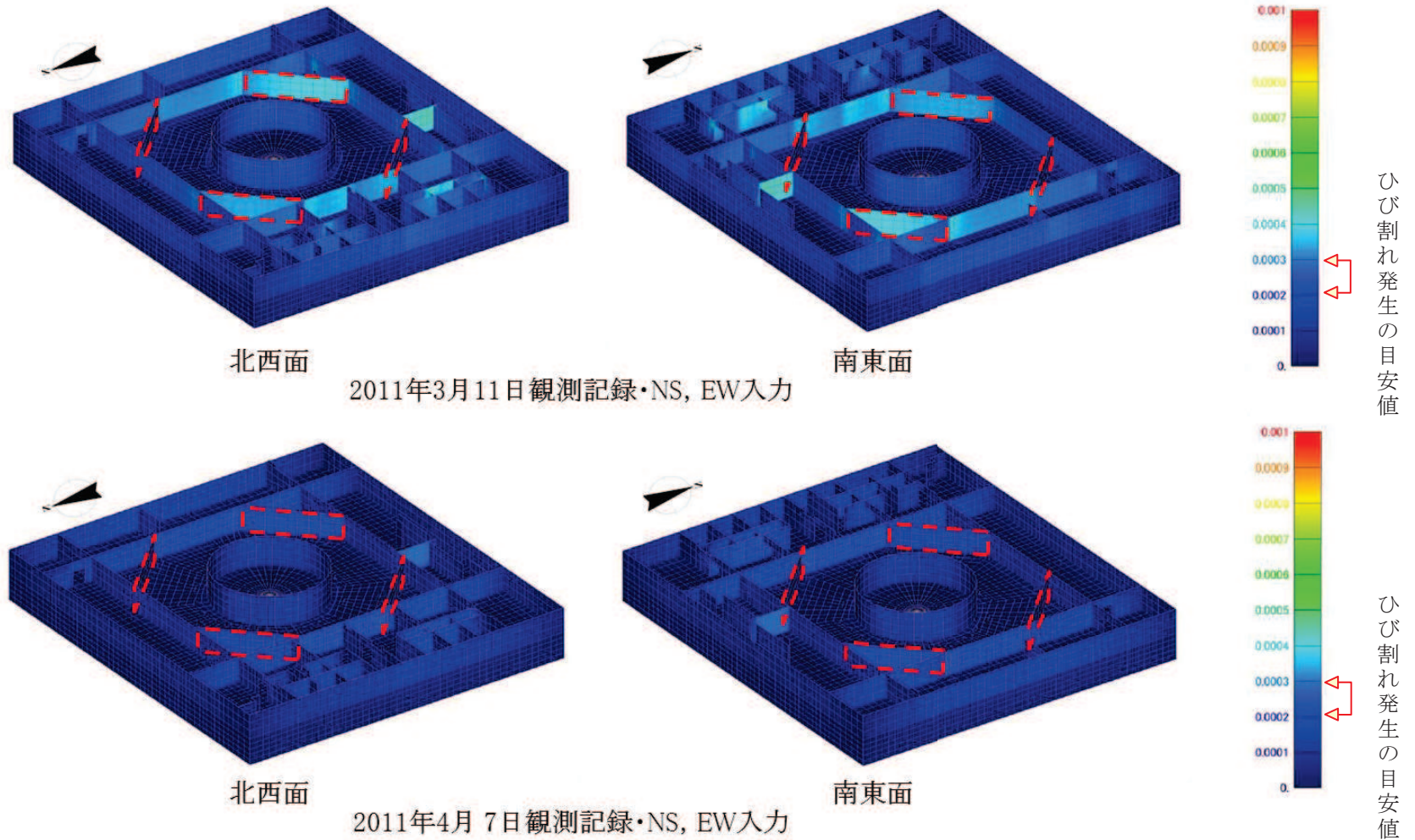


図 8 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 RK 通り)



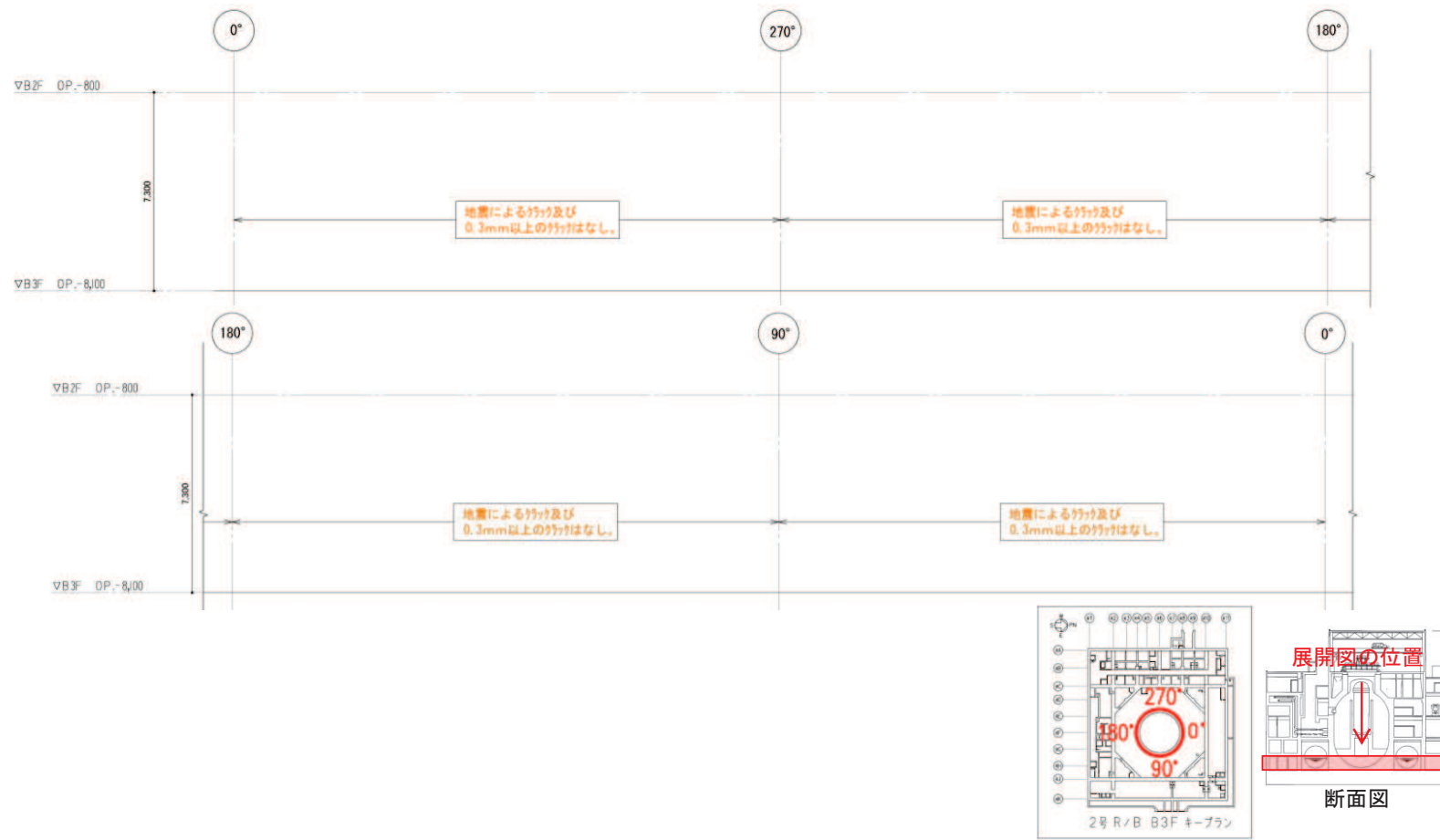
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+		確認不能の範囲

図 9 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下3階 火打ち壁)



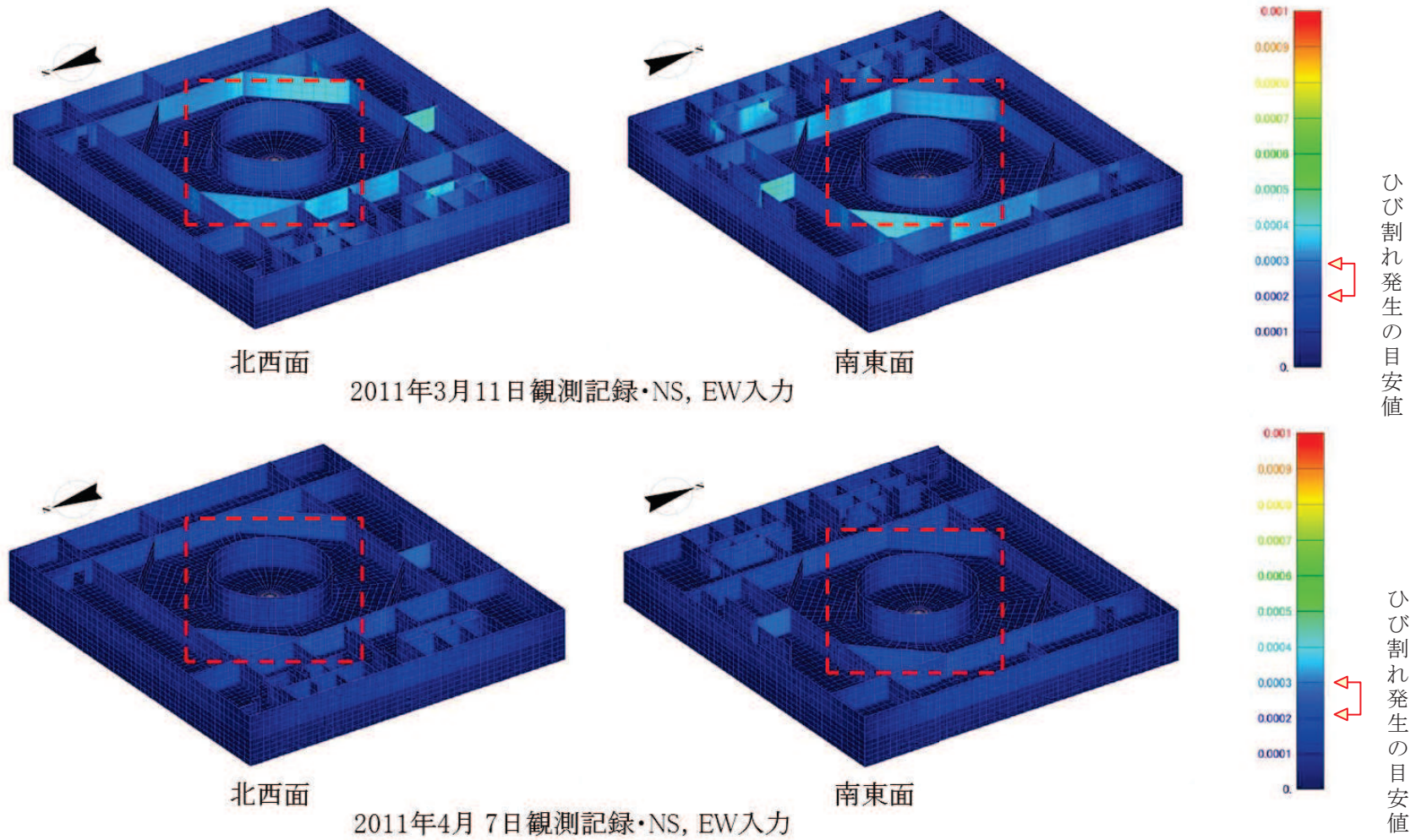
面内せん断ひずみコンター図

図 9 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 火打ち壁)



地震による		地震以外		
—	0.3mm未満			幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく
—	1.0mm以上	—	1.0mm以上	++++ 確認不能の範囲

図 10 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 3 階 シェル壁)



面内せん断ひずみコンター図

図 10 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下3階 シェル壁)

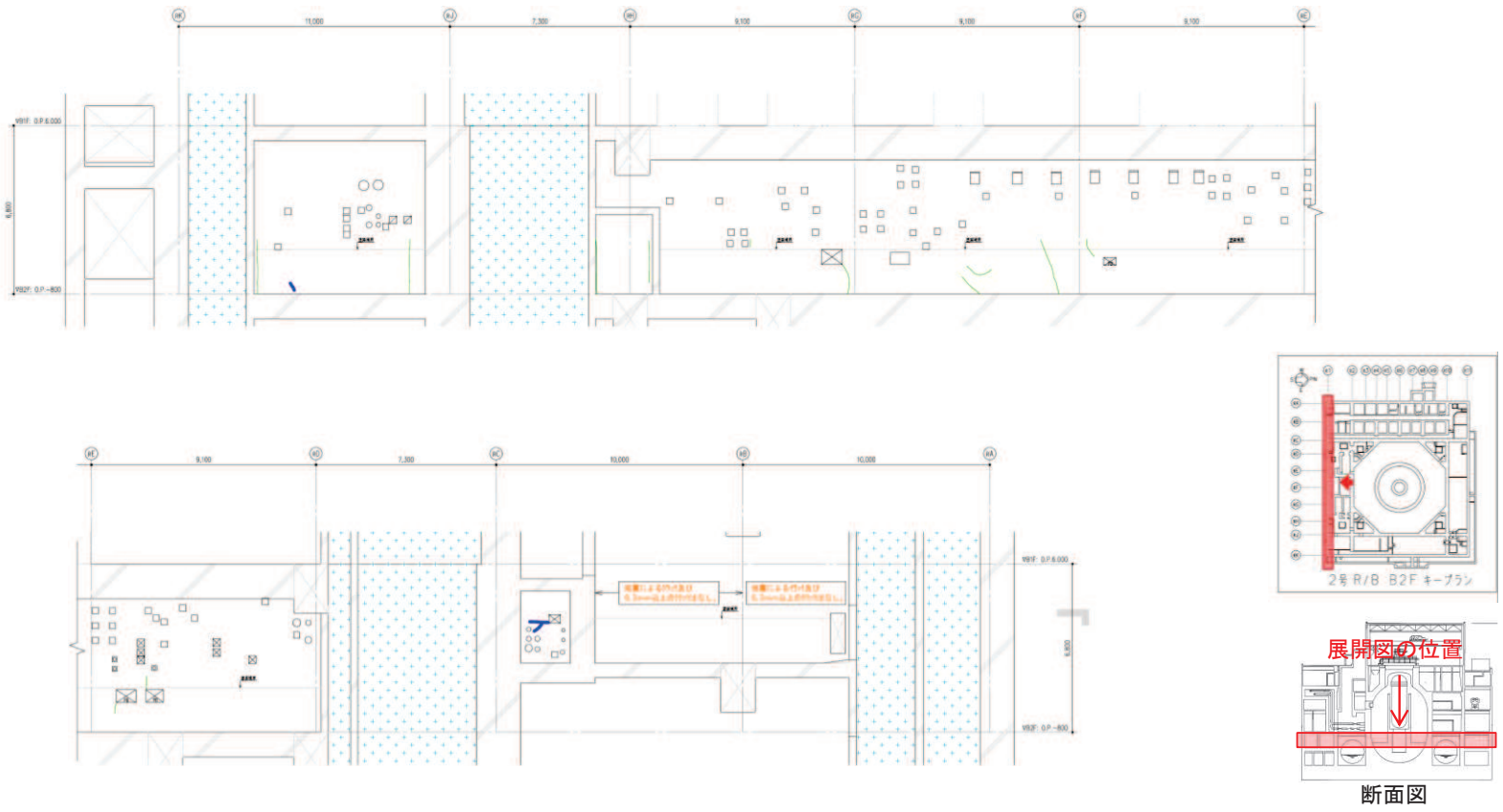
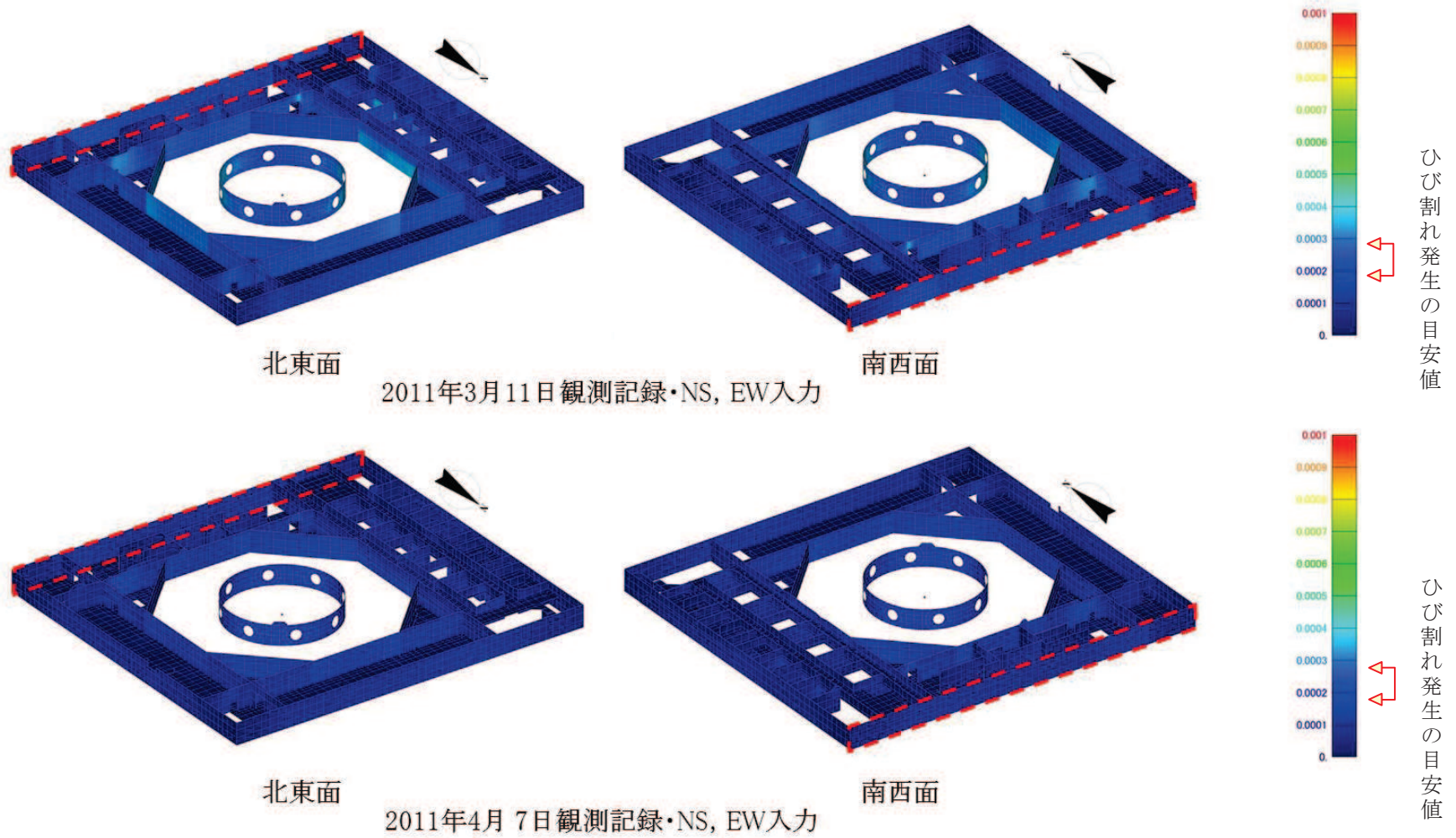


図 11 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 R1 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 11 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 R1 通り)

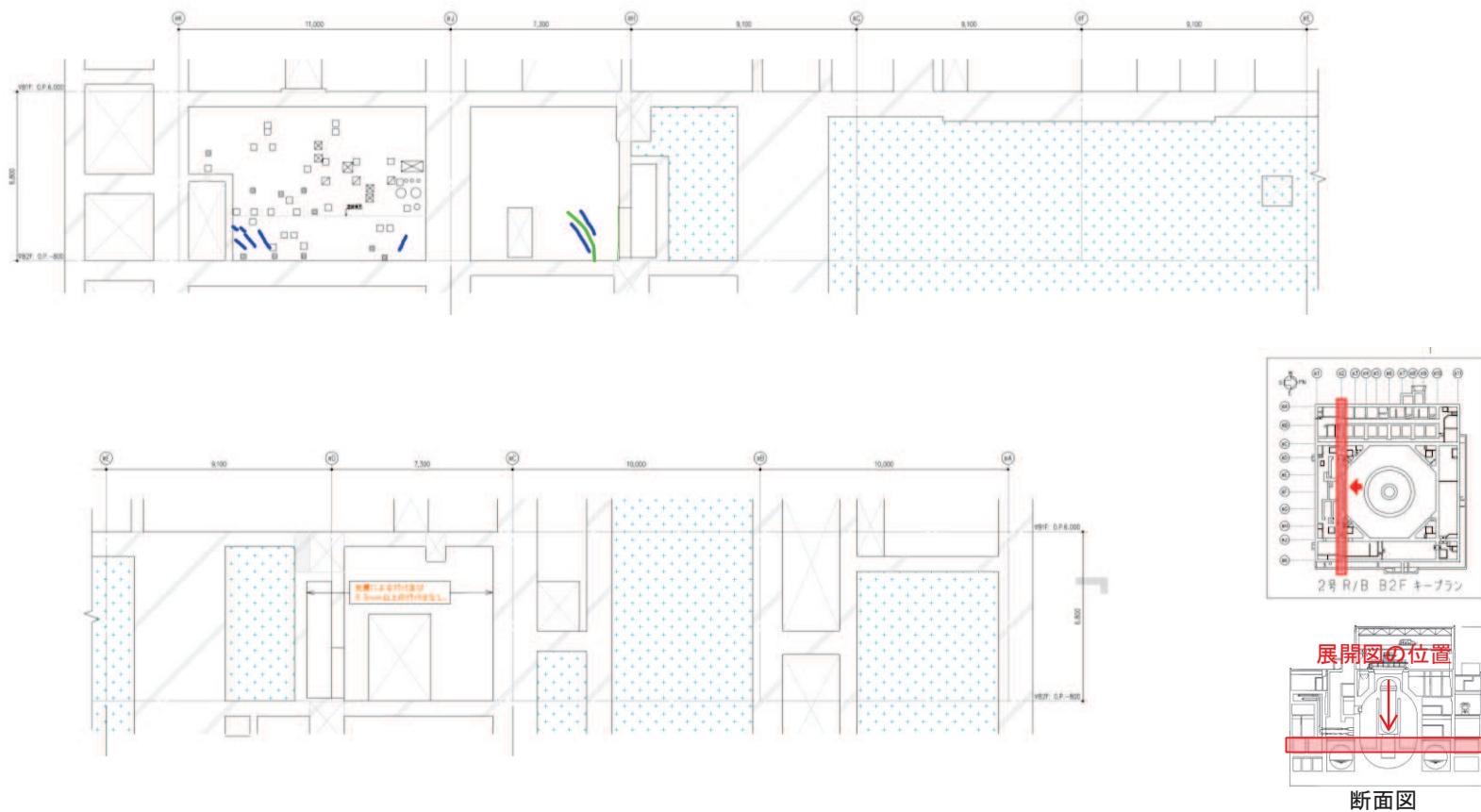
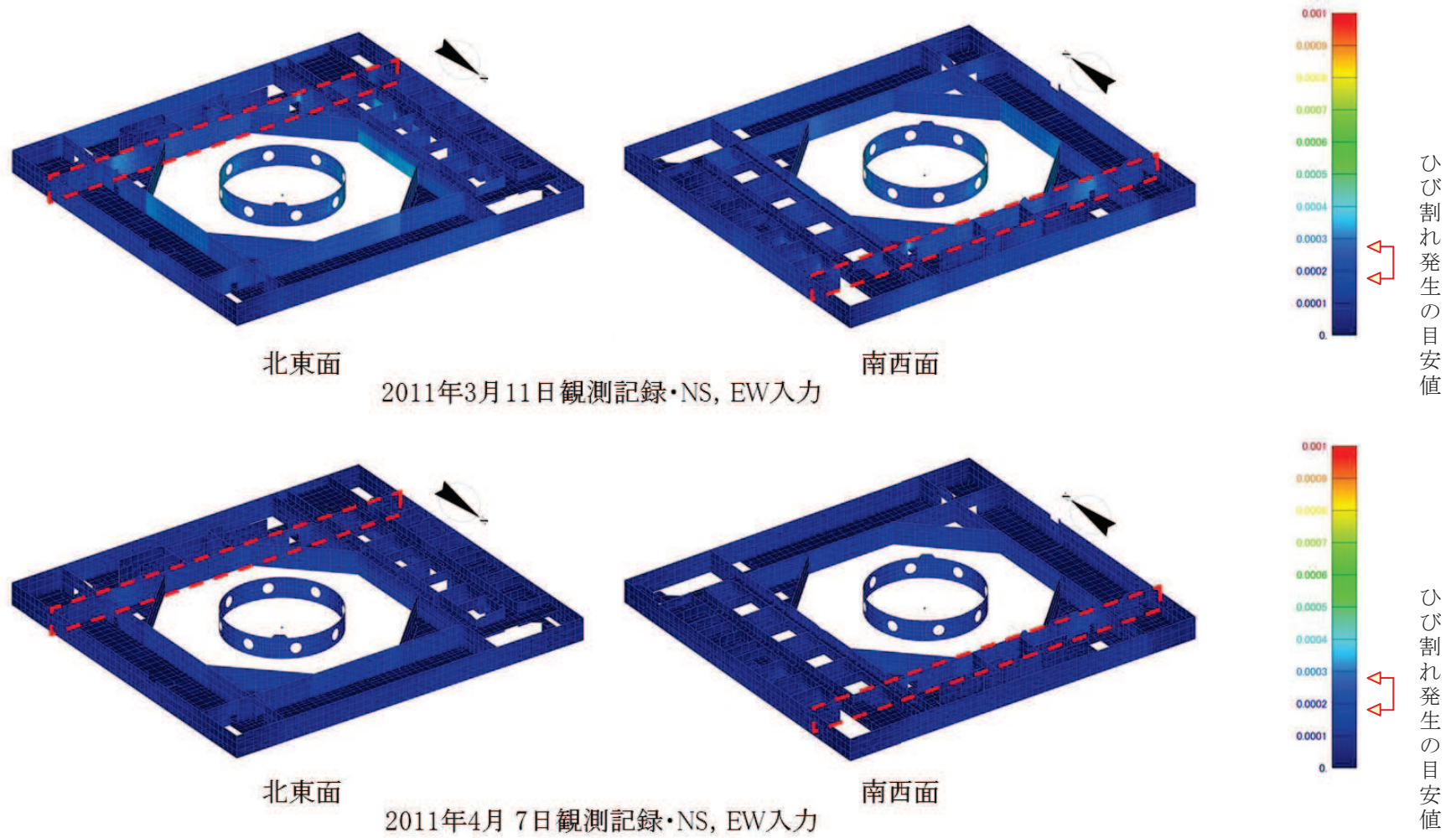
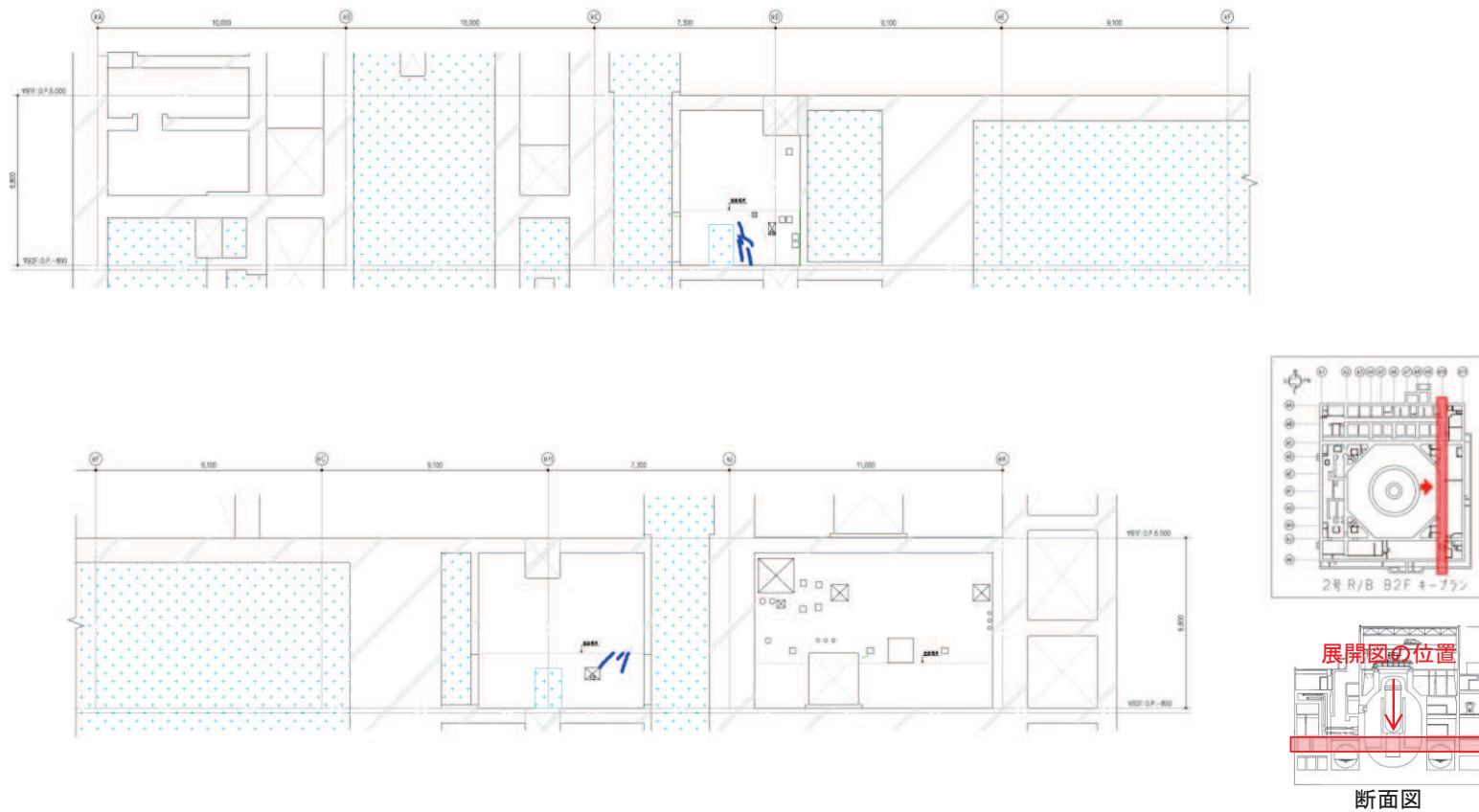


図 12 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 R2 通り)



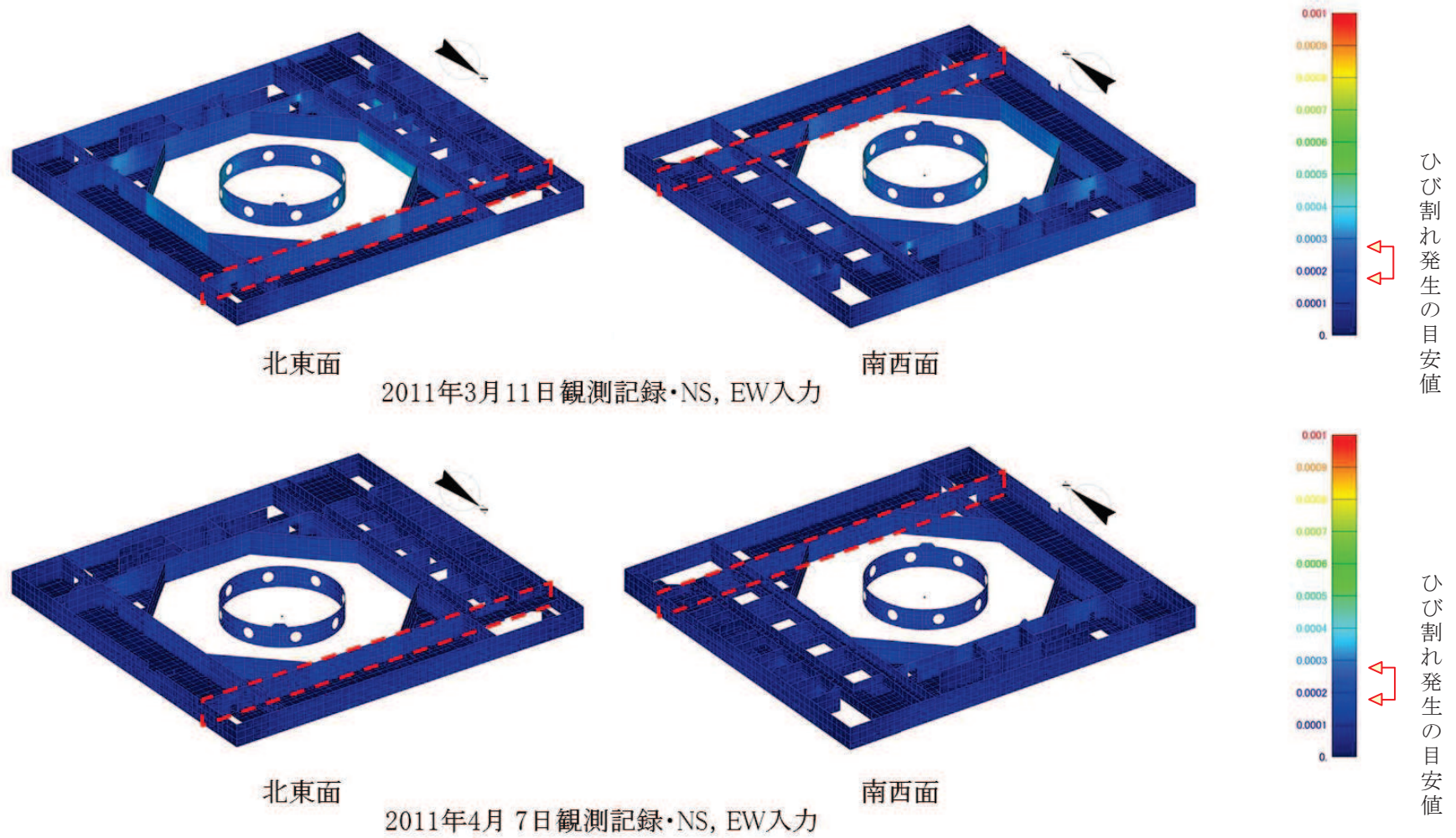
面内せん断ひずみコンター図

図 12 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 R2 通り)



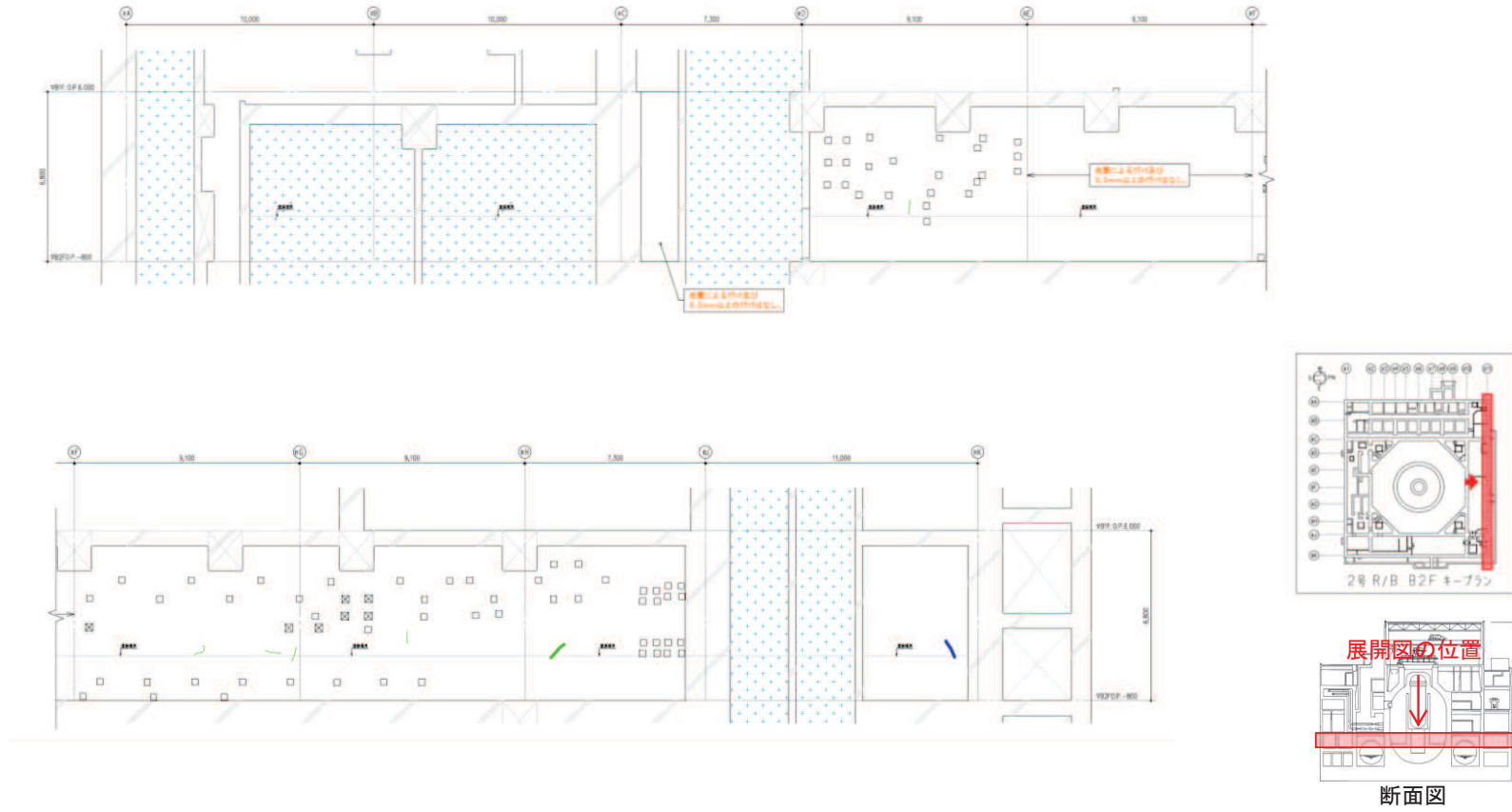
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 13 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 R10 通り)



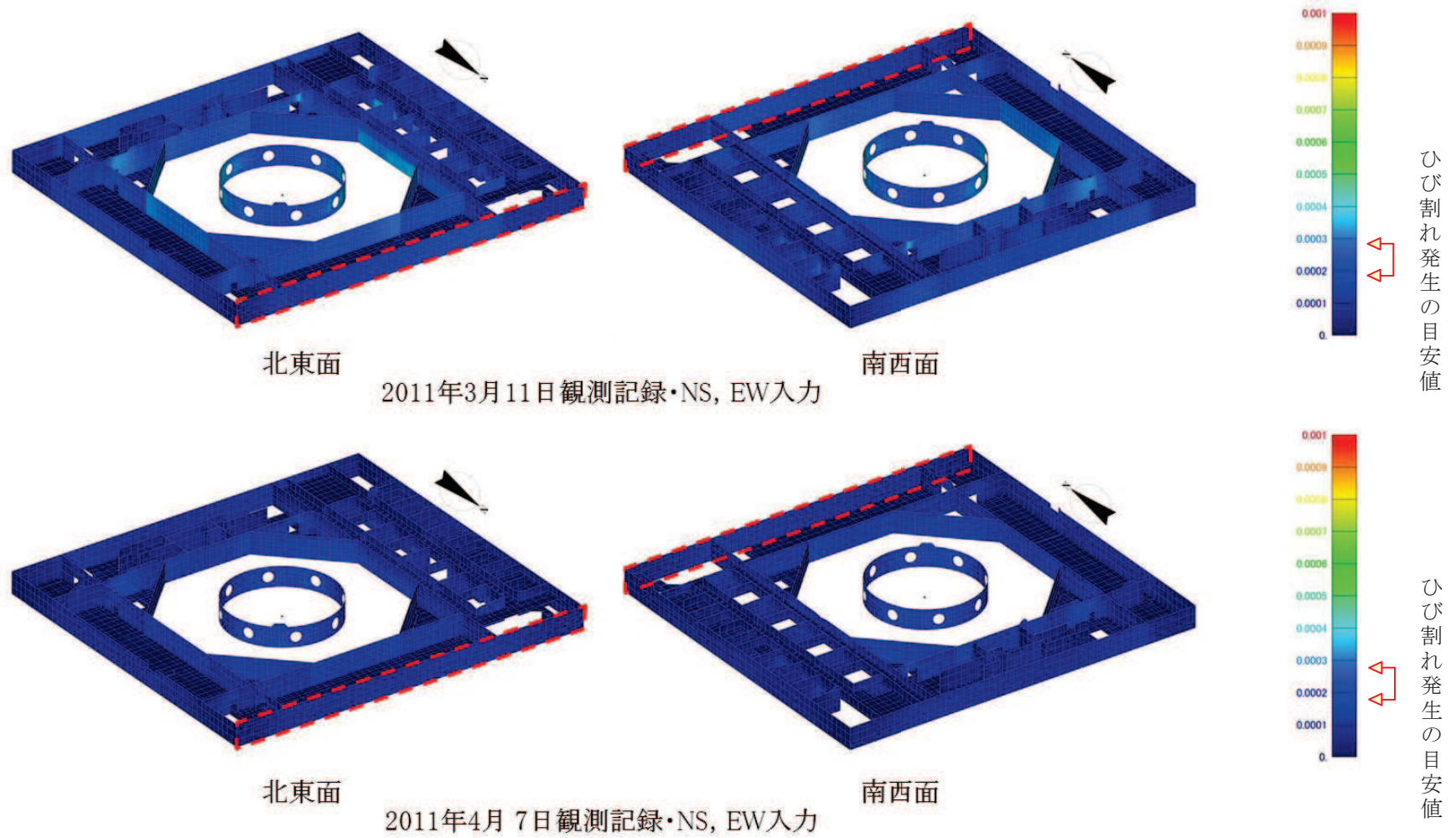
面内せん断ひずみコンター図

図 13 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 R10 通り)



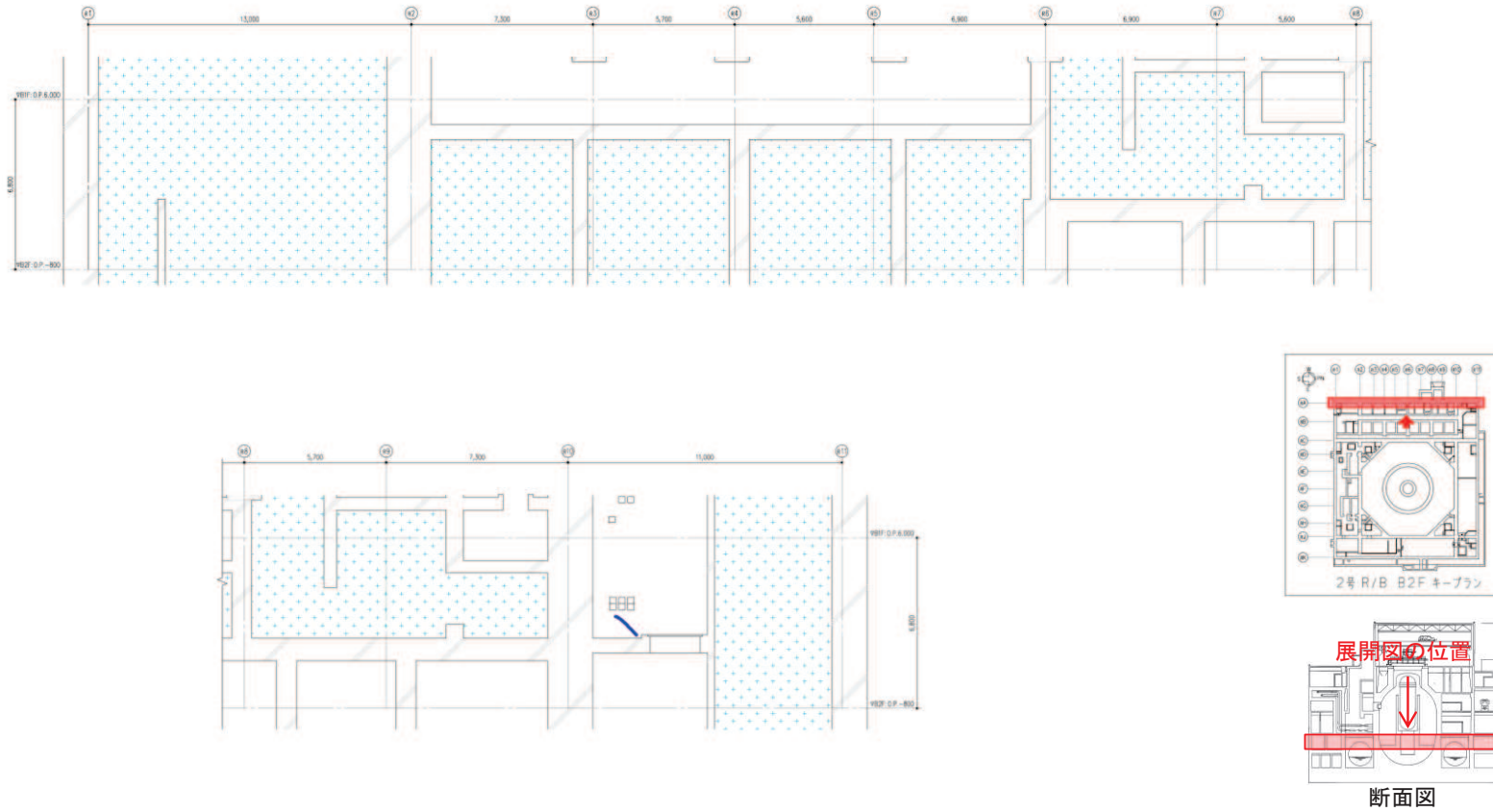
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上	+	確認不能の範囲	

図 14 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 R11 通り)



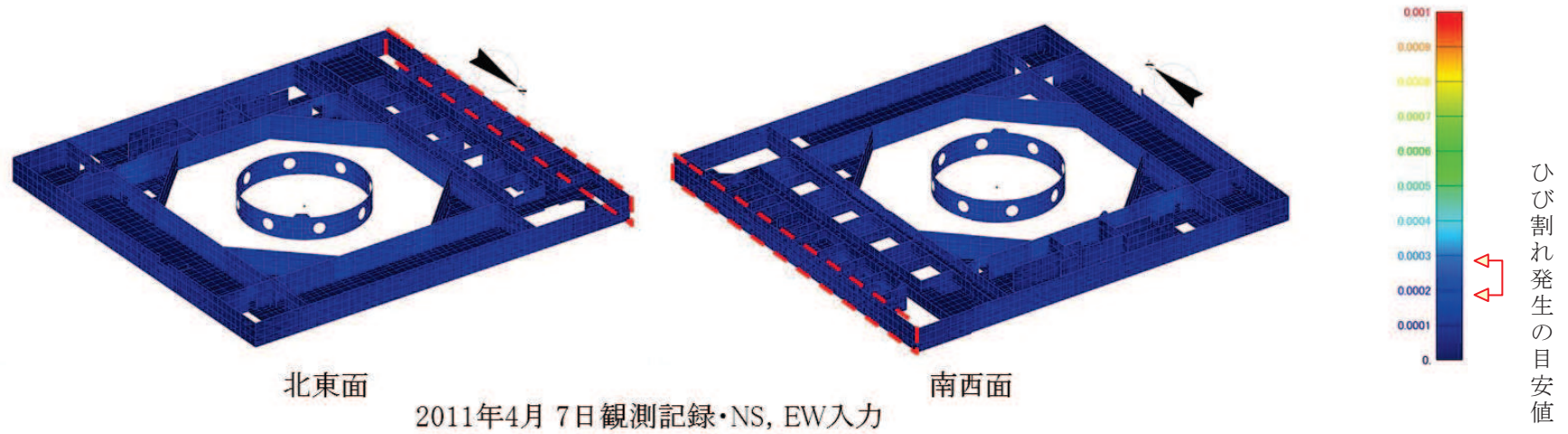
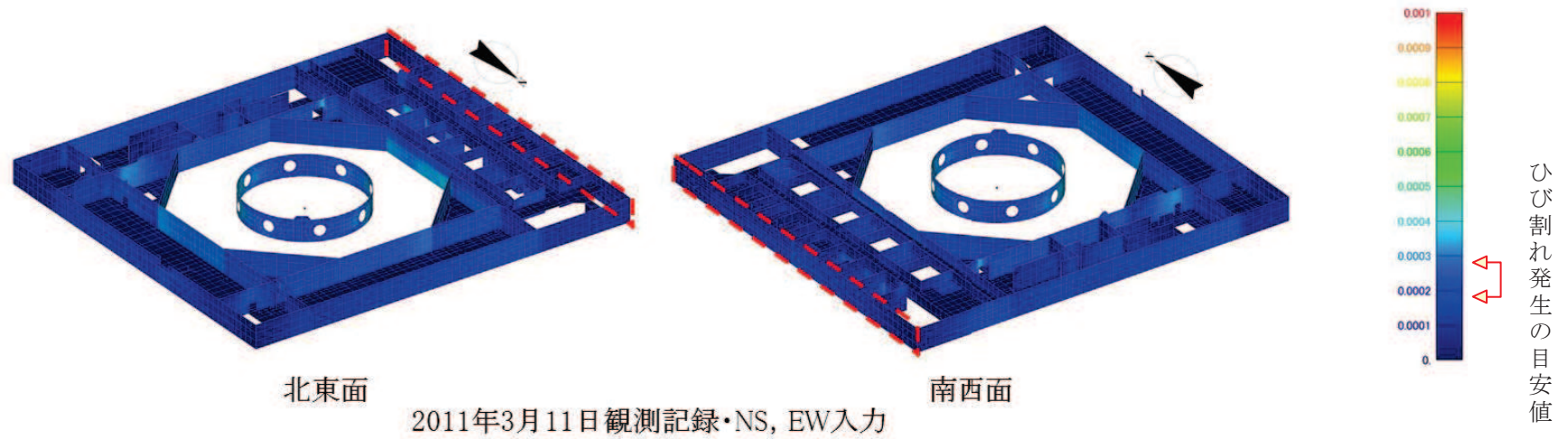
面内せん断ひずみコンター図

図 14 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 R11 通り)



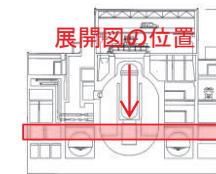
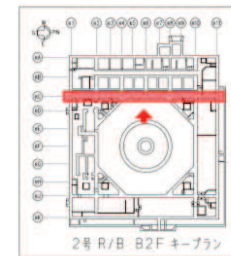
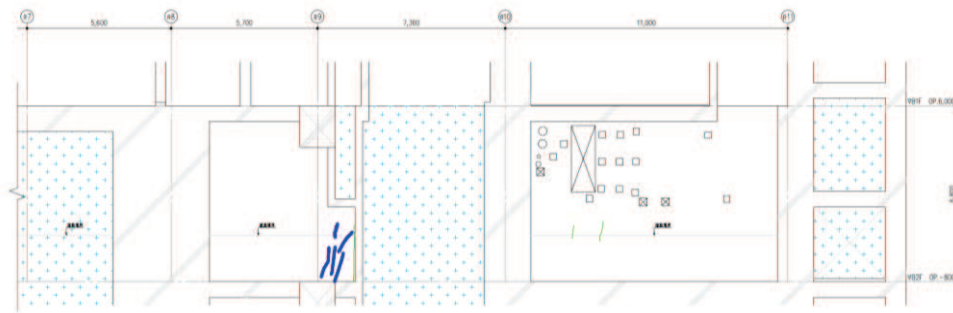
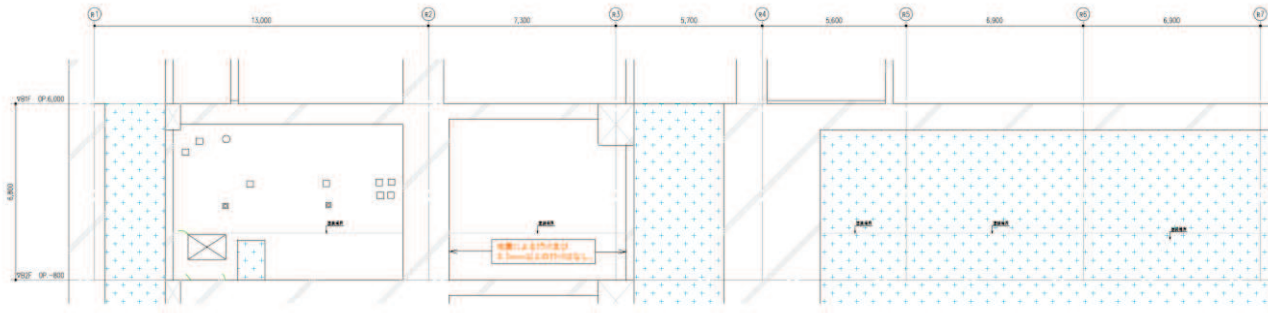
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 15 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 RA 通り)



面内せん断ひずみコンター図

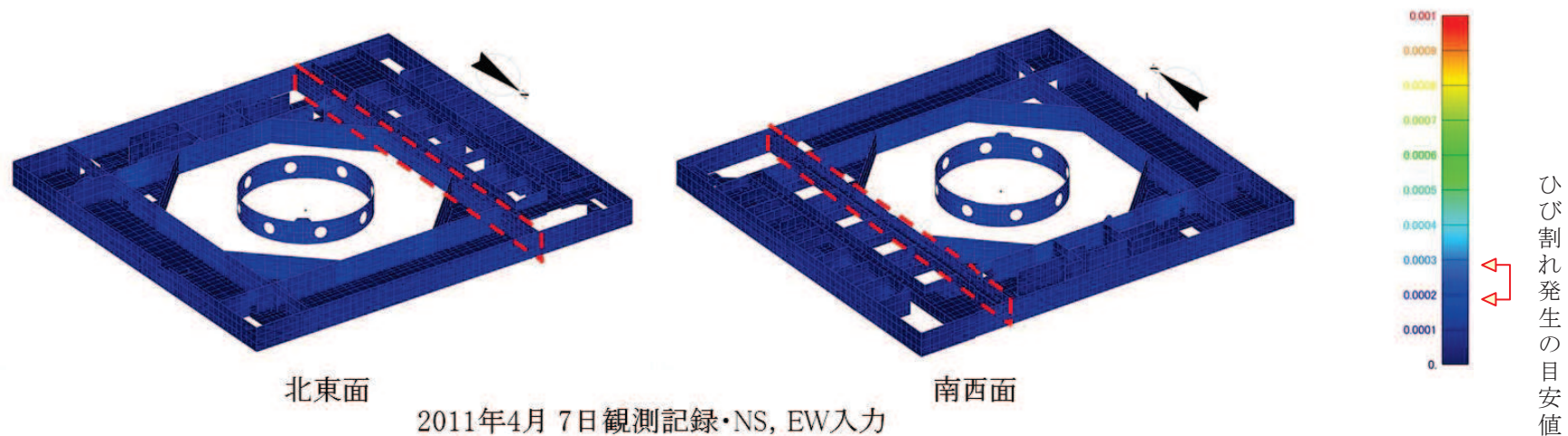
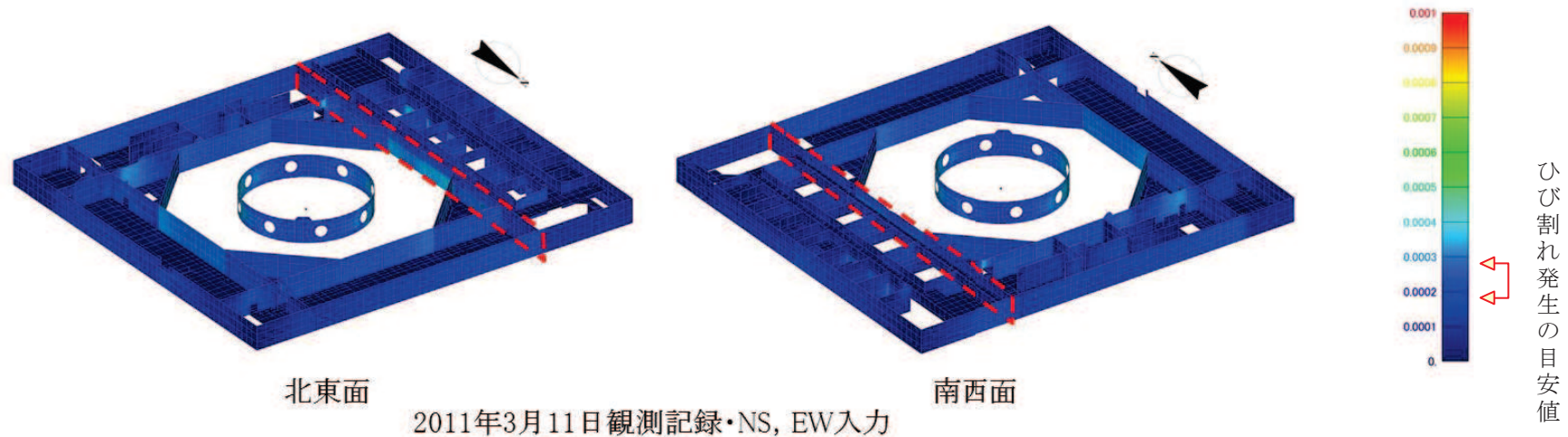
図 15 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 RA 通り)



断面図

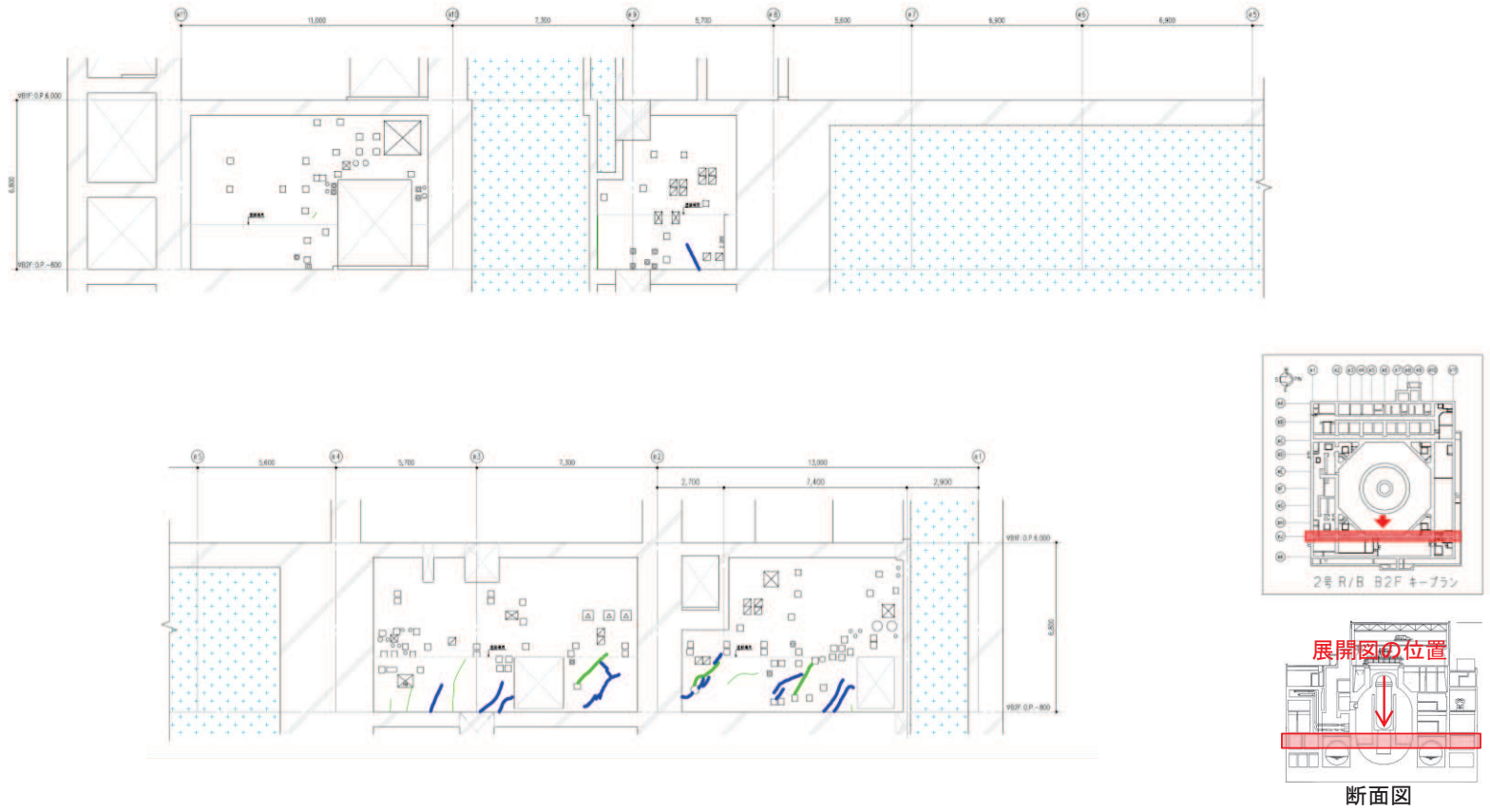
地震による		地震以外		
—	0.3mm未満	—	0.3mm以上～1.0mm未満	幅未確認
—	0.3mm以上～1.0mm未満	—	1.0mm以上	はくらく
—	1.0mm以上			確認不能の範囲

図 16 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 RC 通り)



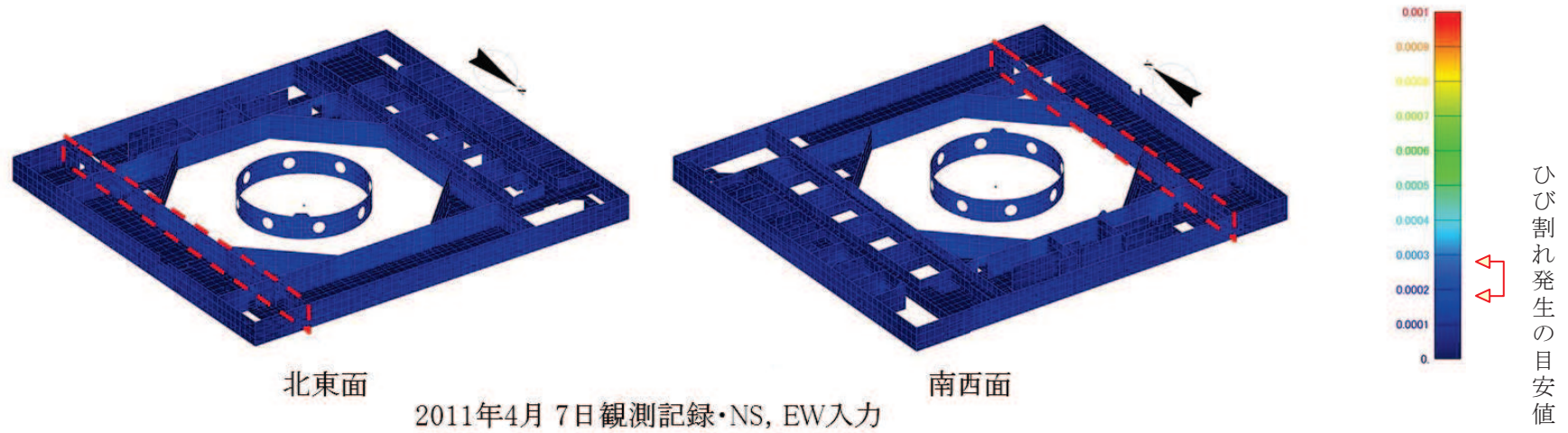
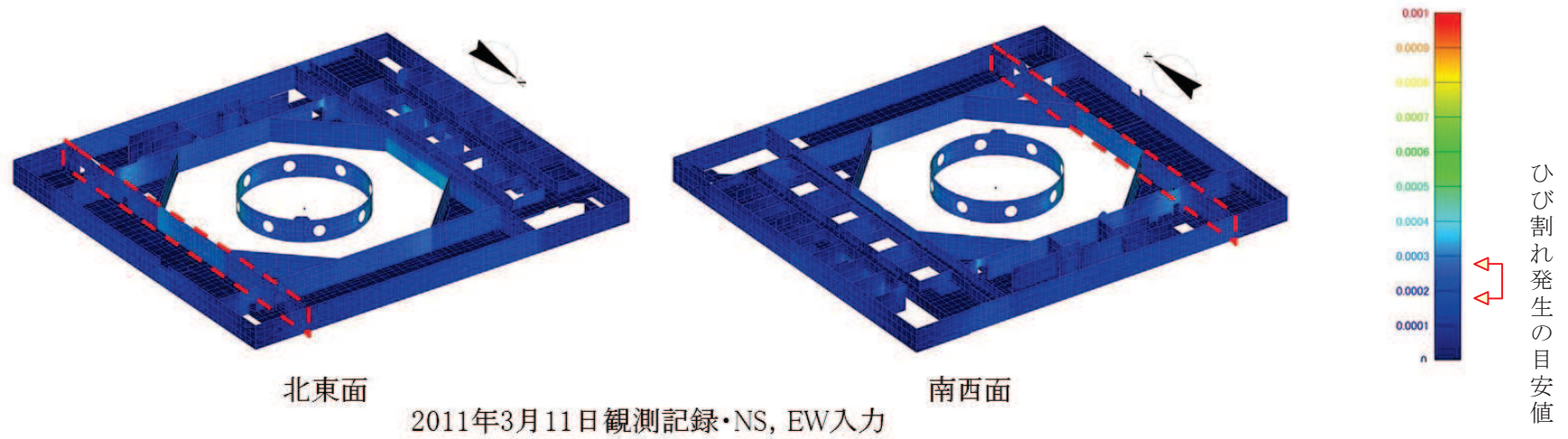
面内せん断ひずみコンター図

図 16 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 RC 通り)



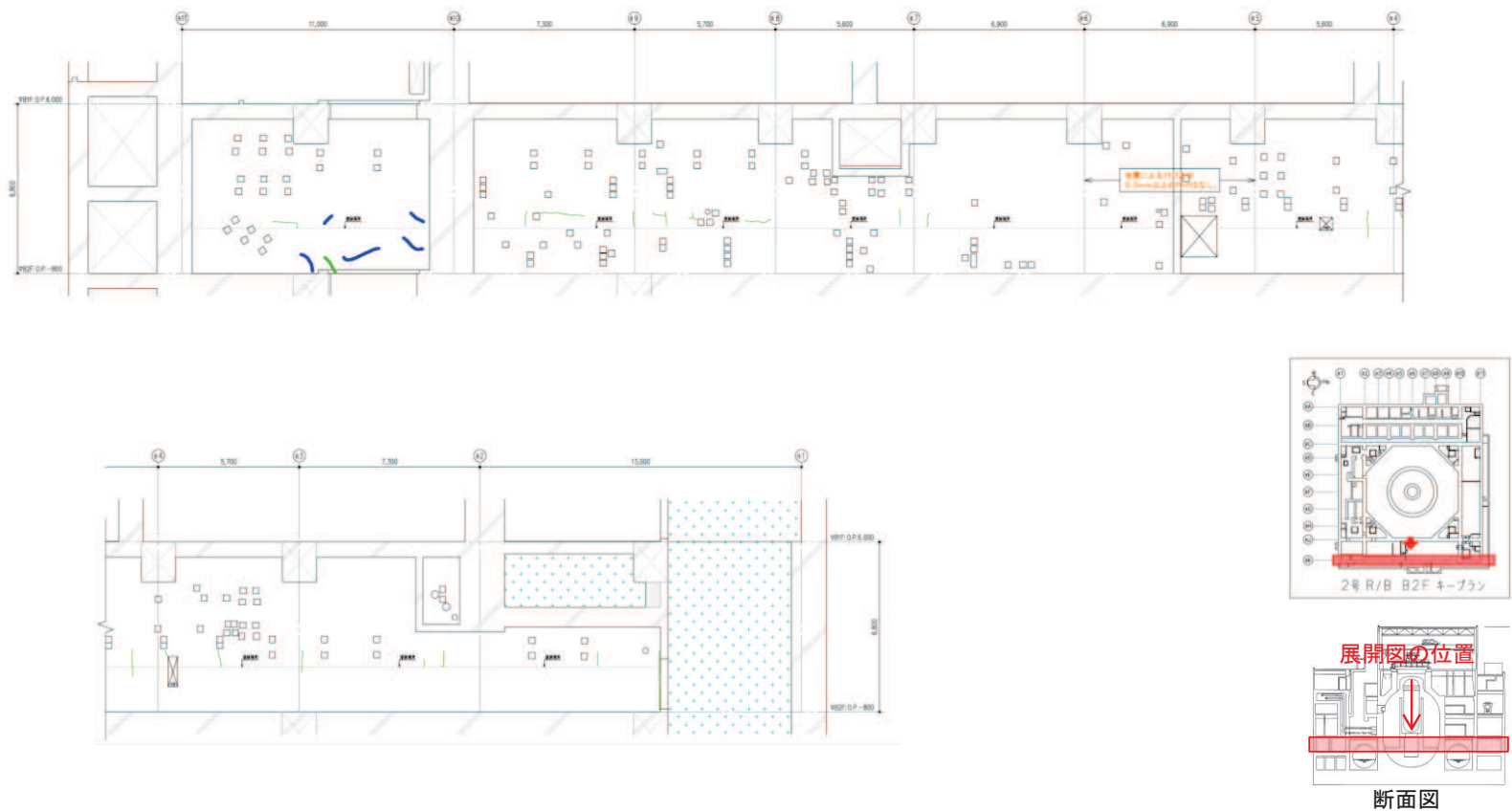
地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 17 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 RJ 通り)



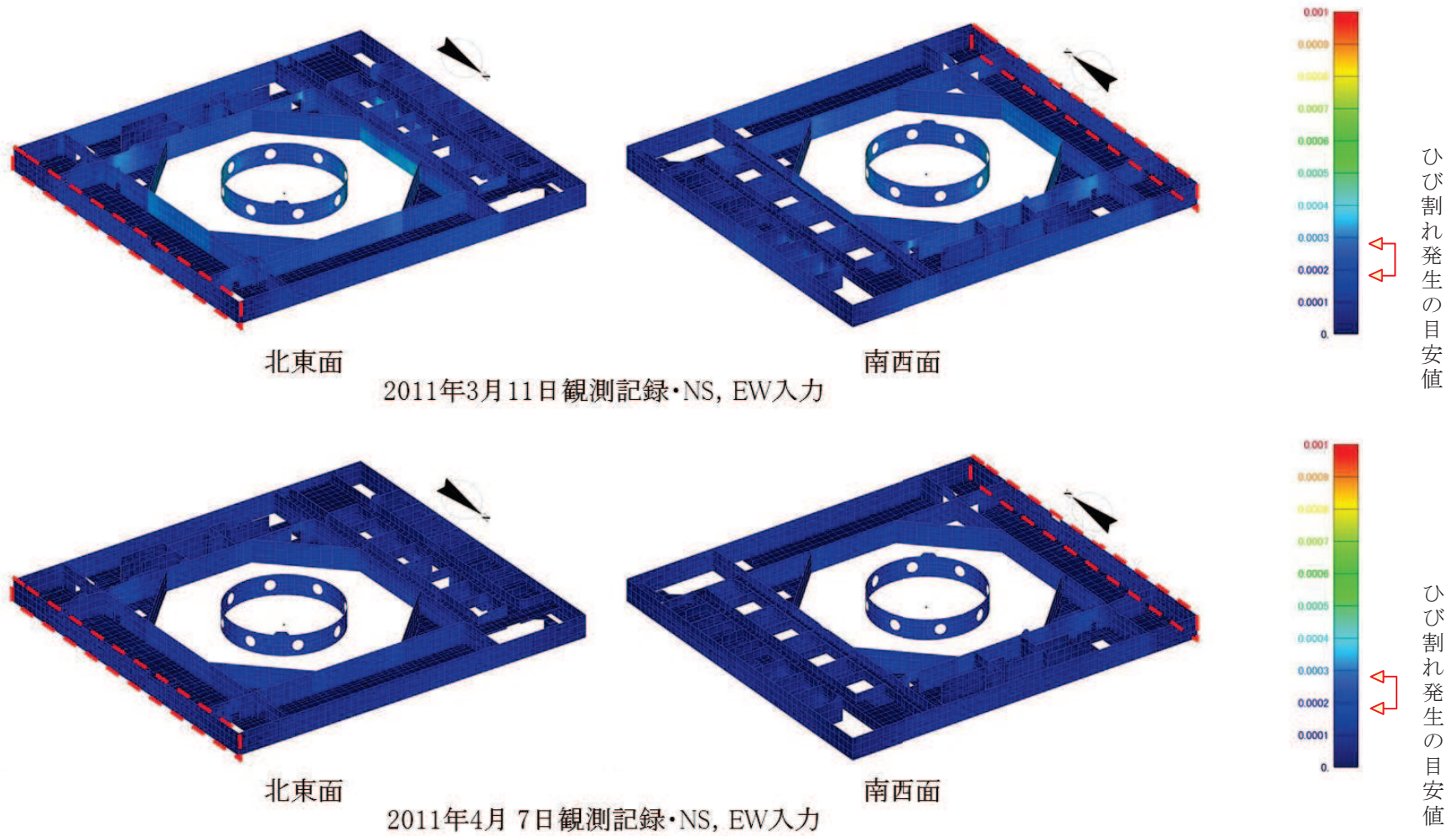
面内せん断ひずみコンター図

図 17 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 RJ 通り)



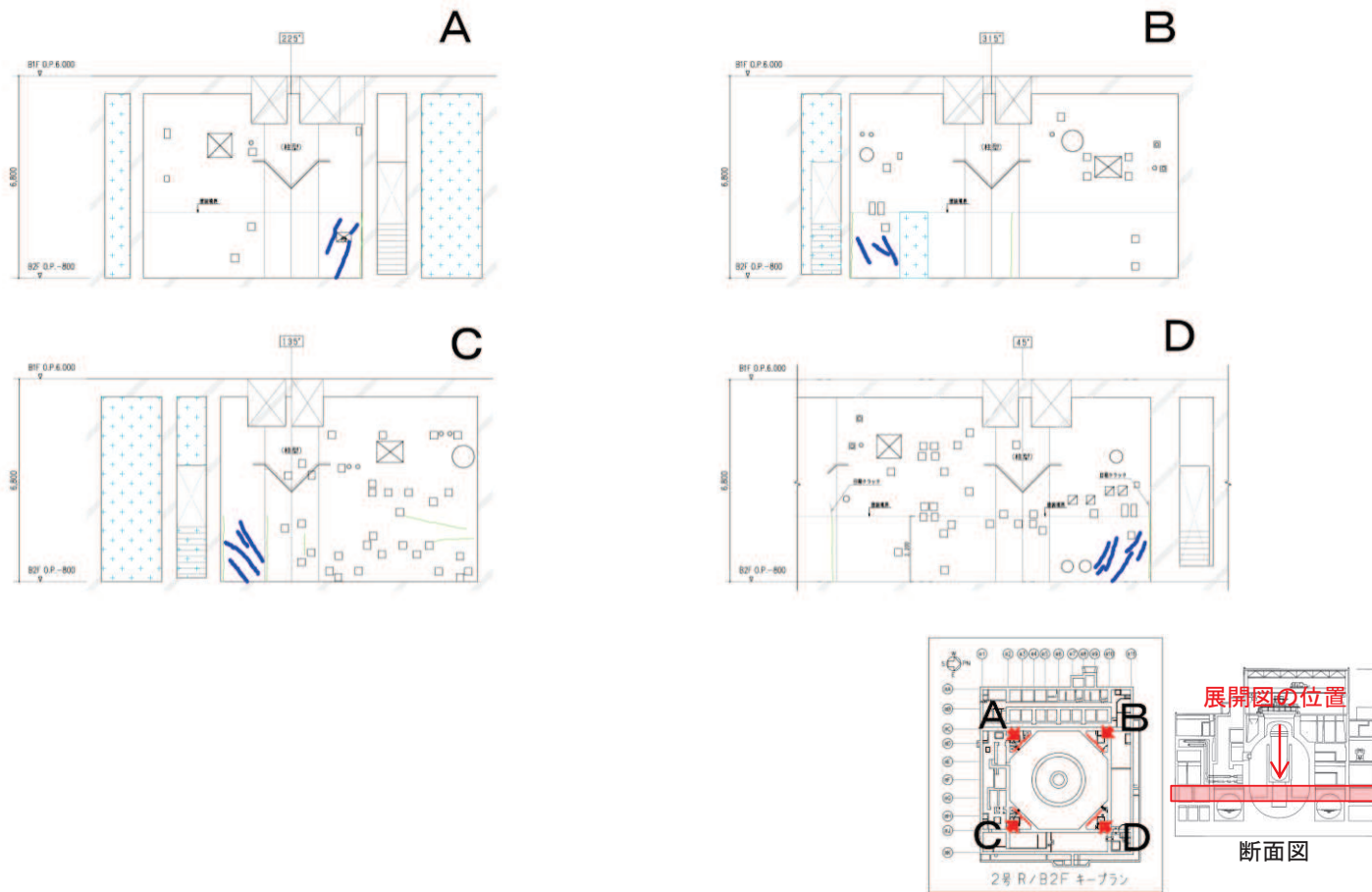
地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上~1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上~1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 18 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下2階 RK 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 18 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 RK 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 19 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 2 階 火打ち壁)

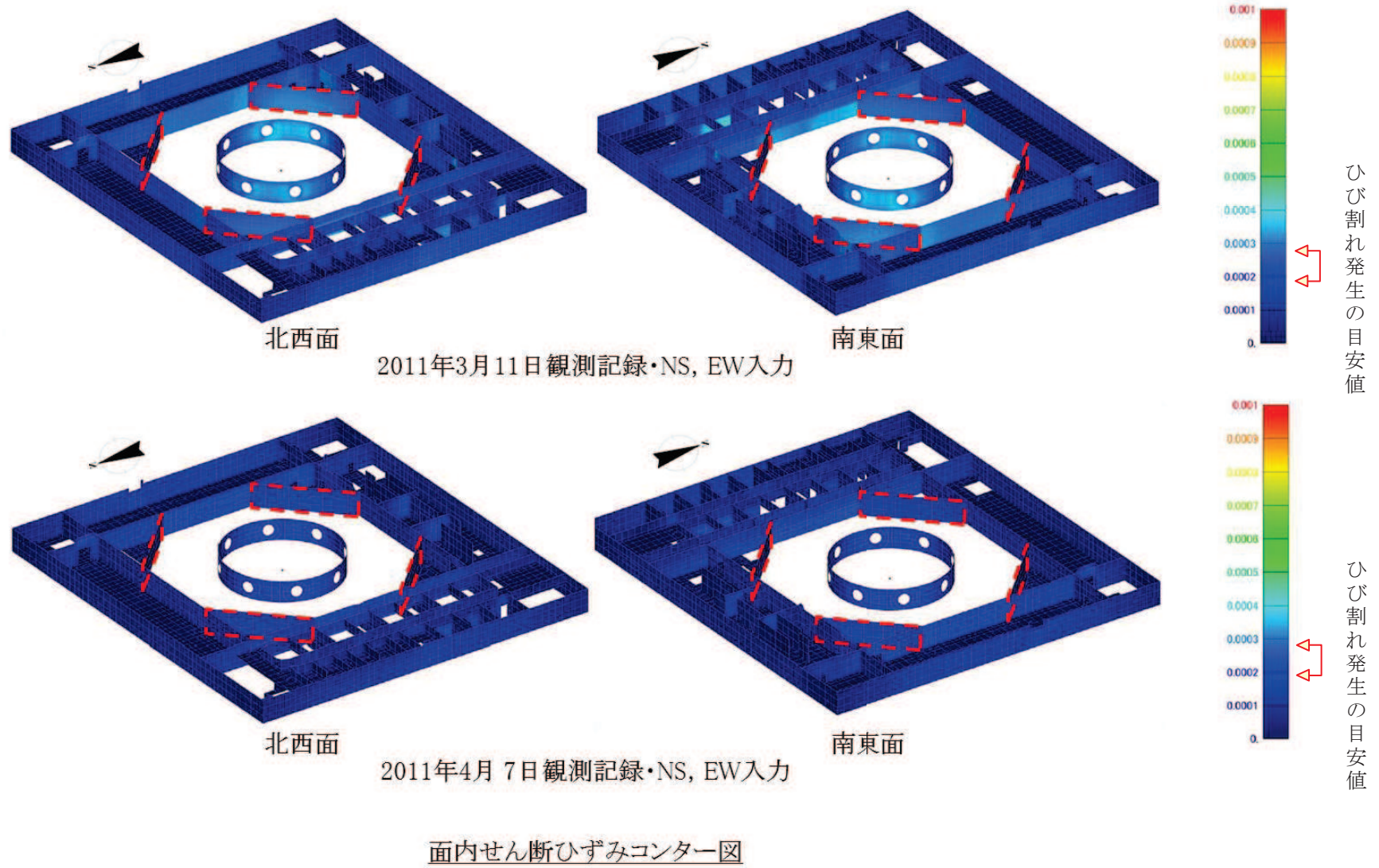
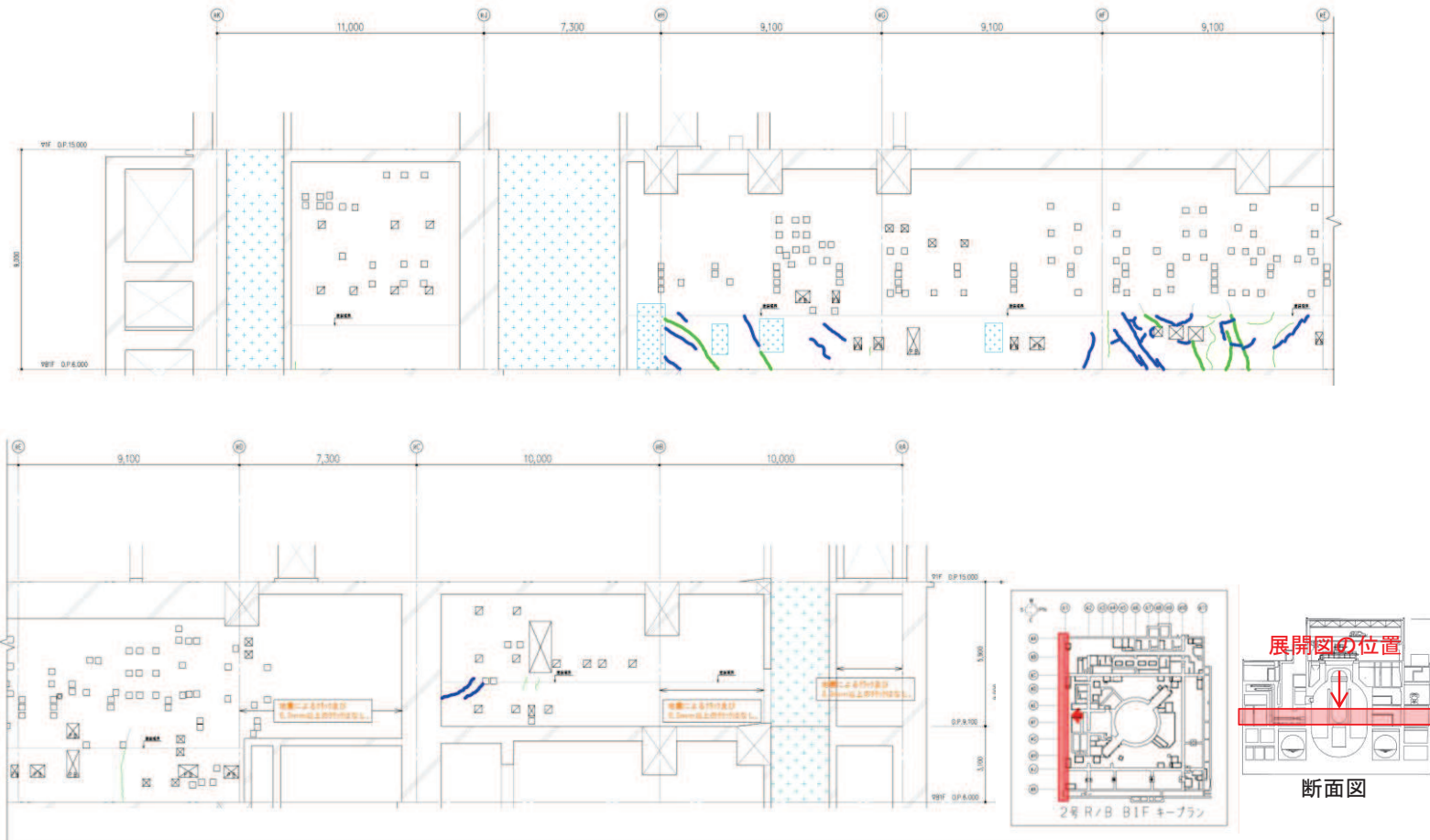
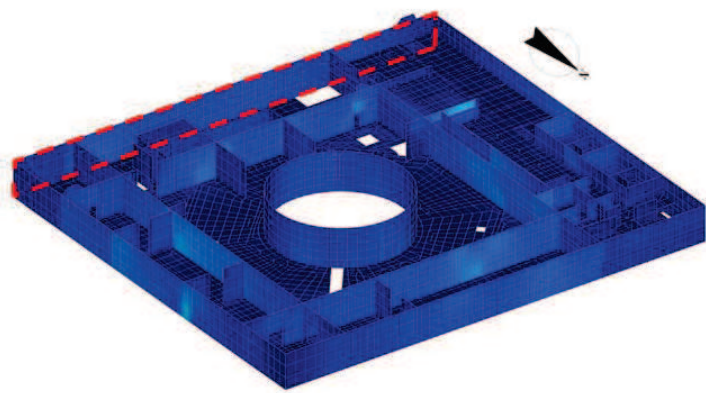


図 19 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下2階 火打ち壁)

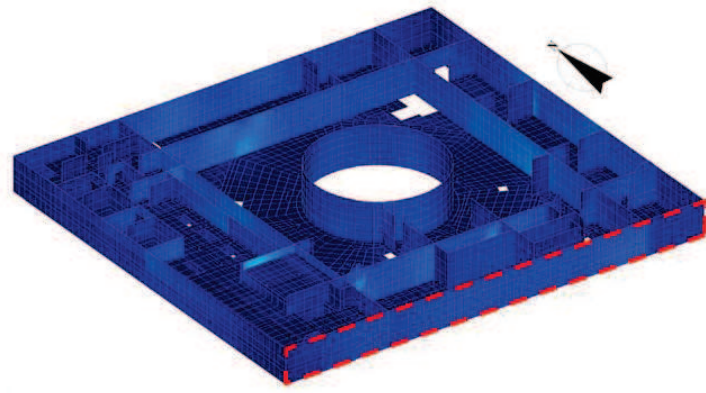


地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		はくらく
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 20 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下1階 R1 通り)

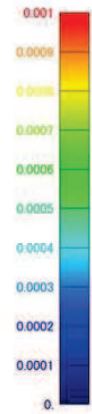


北東面

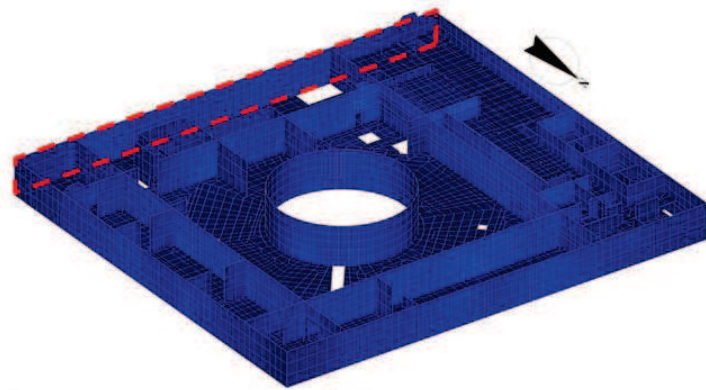


南西面

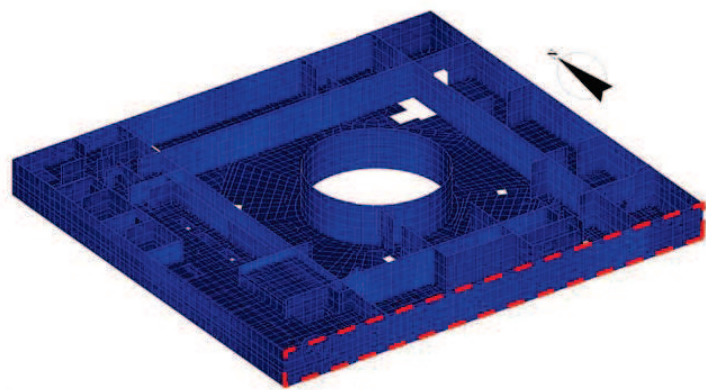
2011年3月11日観測記録・NS, EW入力



ひび割れ発生が目安値



北東面



南西面

2011年4月7日観測記録・NS, EW入力



ひび割れ発生が目安値

面内せん断ひずみコンター図

図 20 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下1階 R1 通り)

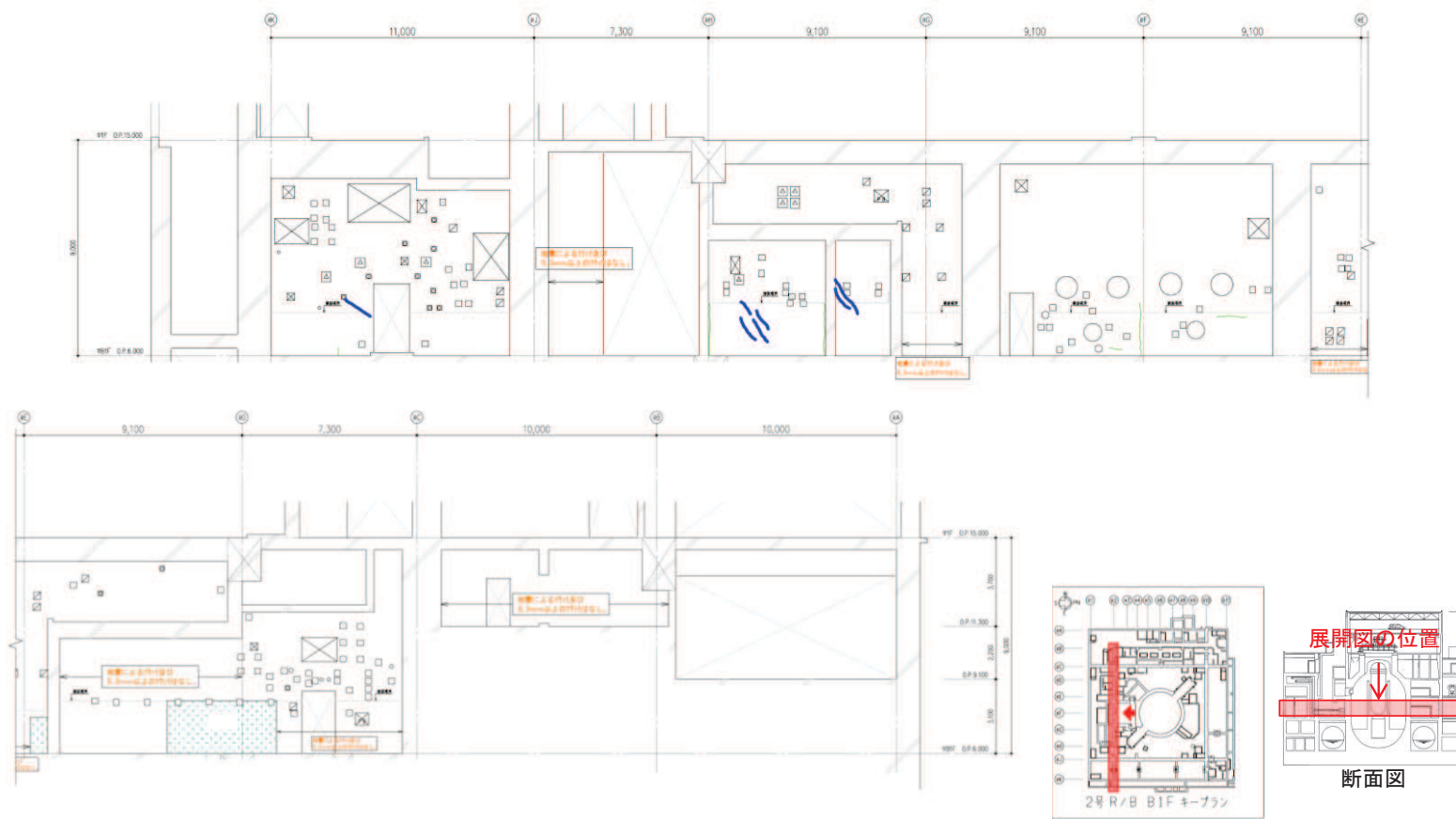
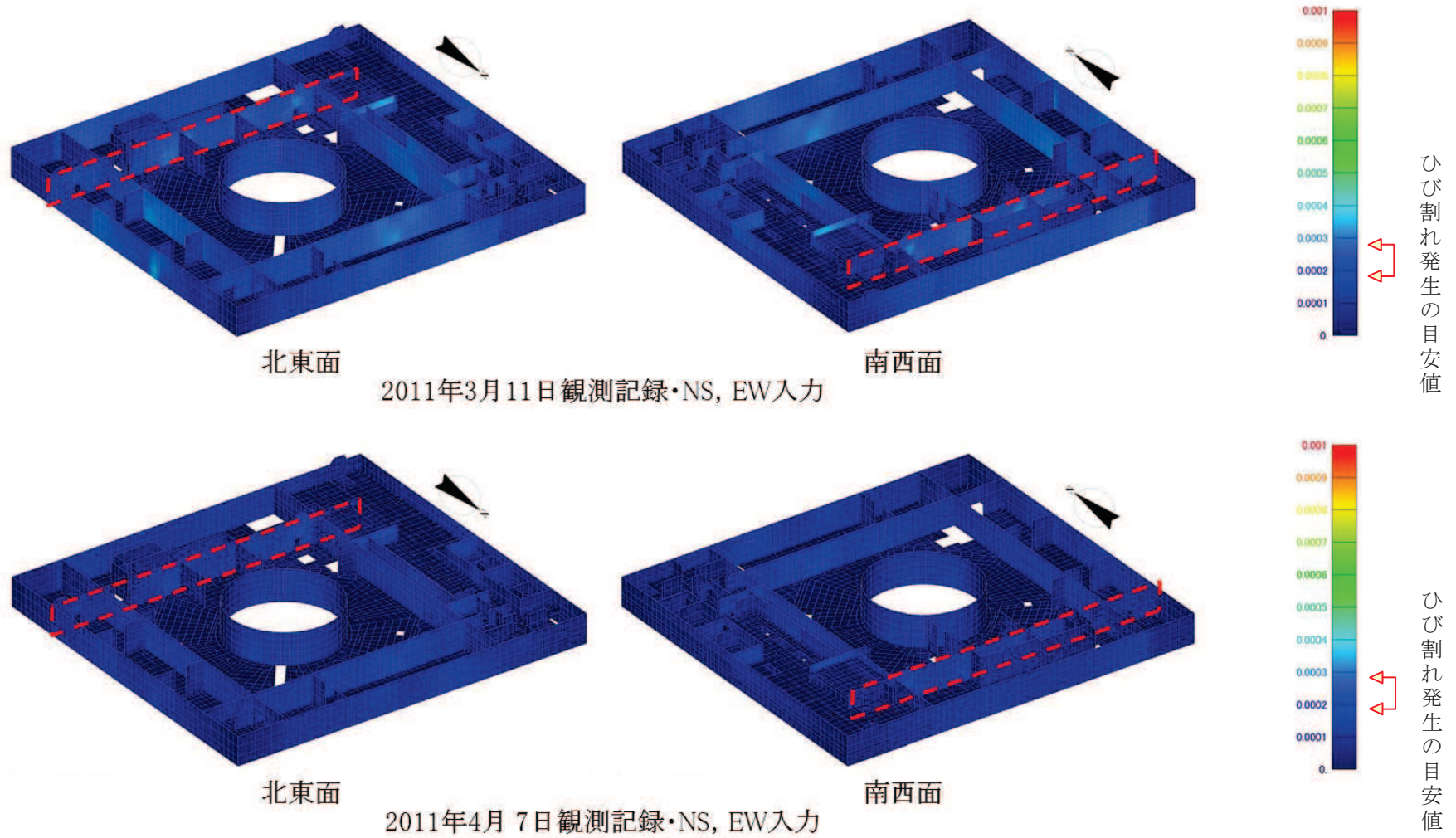
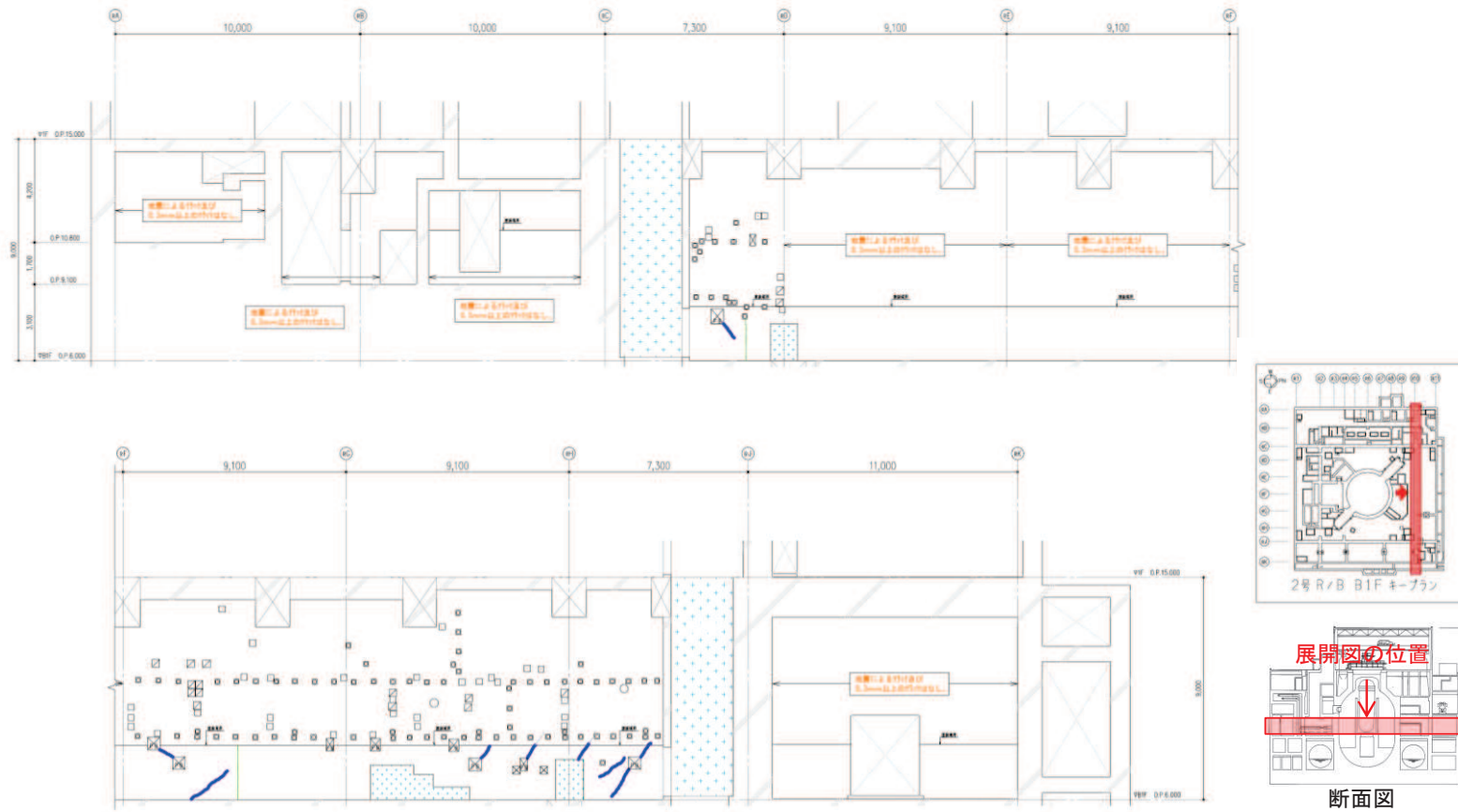


図 21 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下1階 R2 通り)



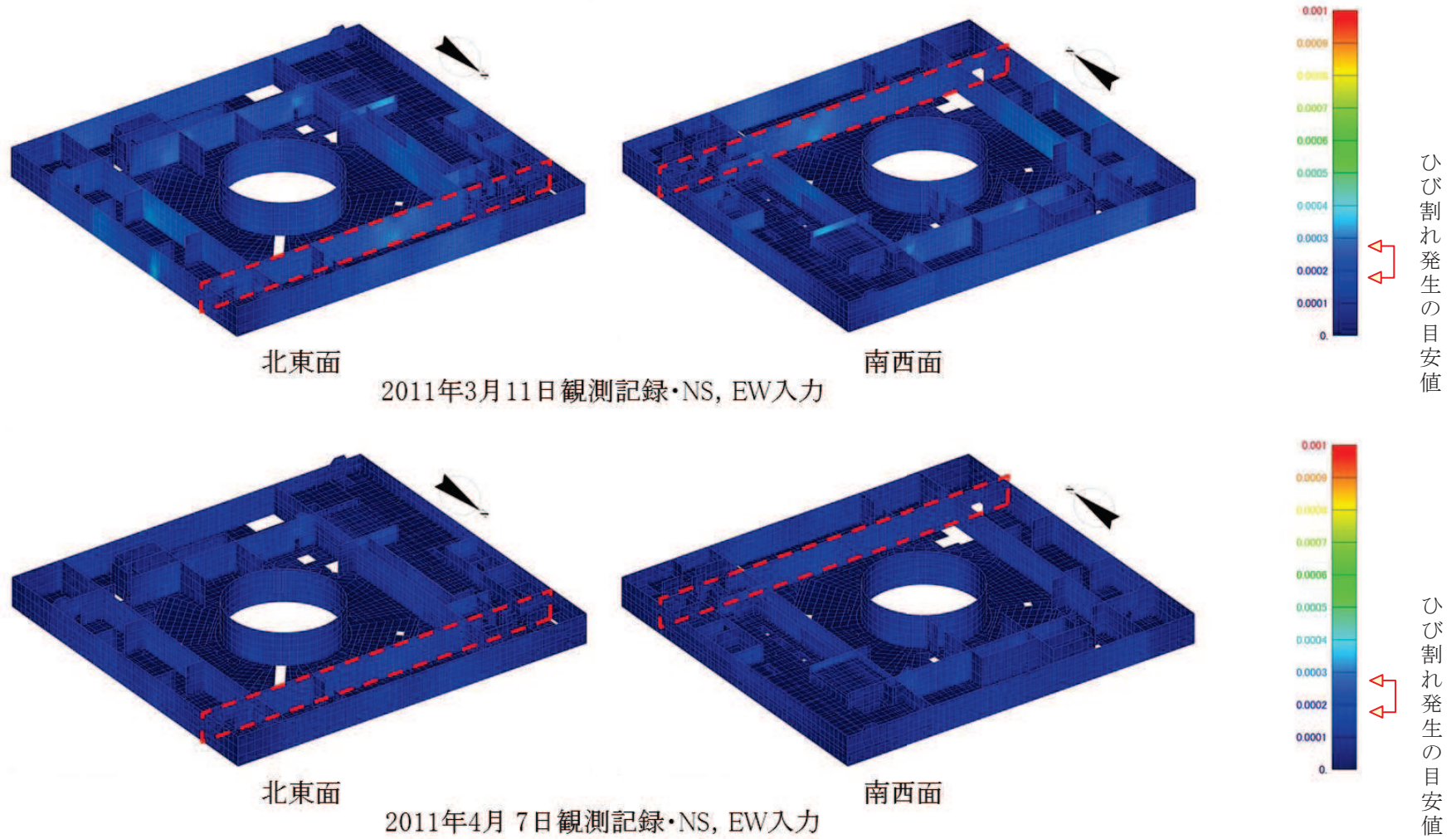
面内せん断ひずみコンター図

図 21 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下1階 R2 通り)



地震による		地震以外			
	0.3mm未満			幅未確認	
	0.3mm以上～1.0mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満	はくらく	
	1.0mm以上		1.0mm以上		確認不能の範囲

図 22 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 1 階 R10 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 22 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下1階 R10 通り)

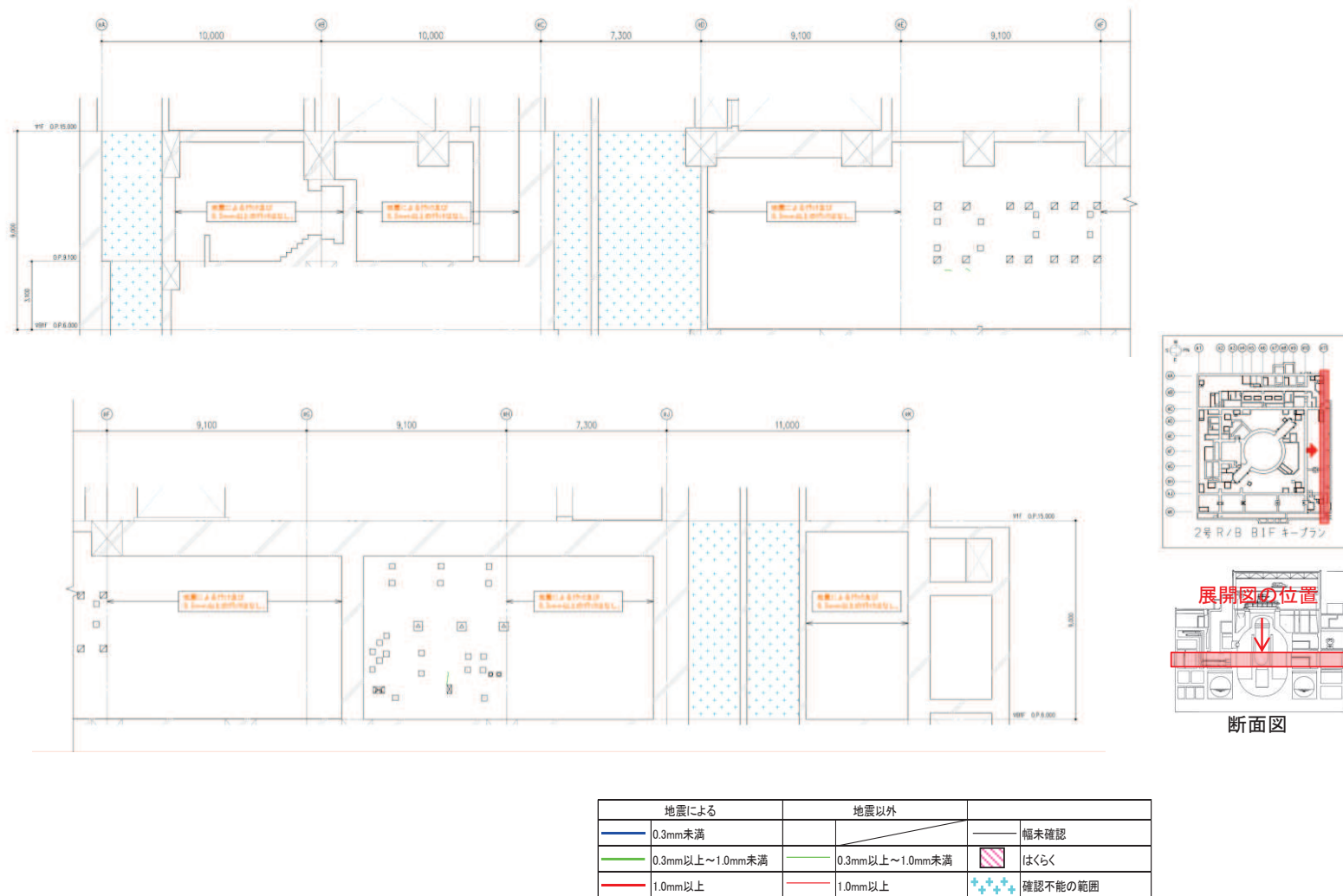
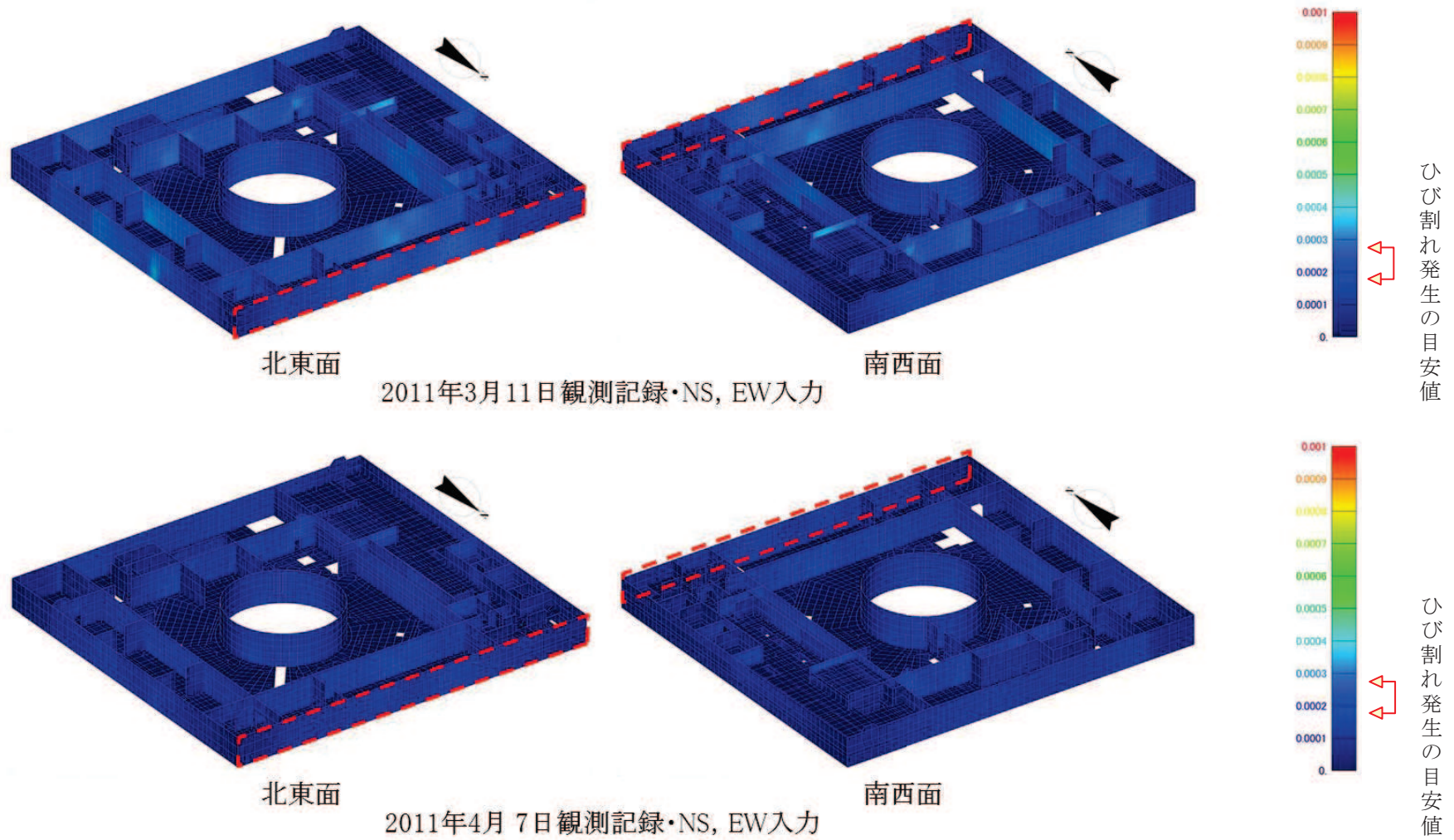
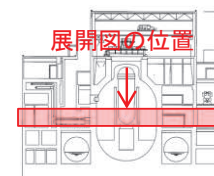
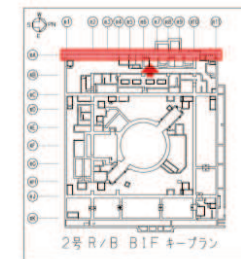
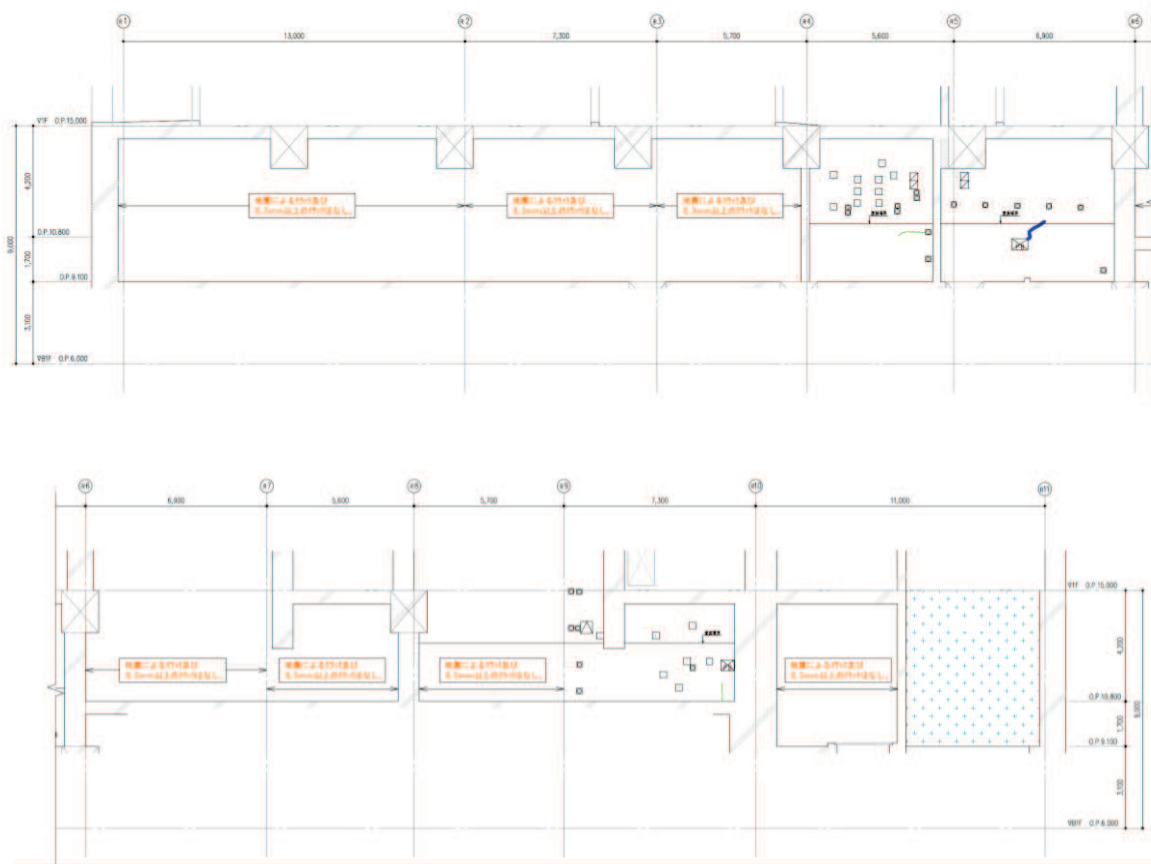


図 23 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 1 階 R11 通り)



面内せん断ひずみコンター図

図 23 (2) 原子炉建屋のひずみ分布 (耐震壁 地下1階 R11 通り)



断面図

地震による		地震以外			
	0.3mm未満		0.3mm以上～1.0mm未満		幅未確認
	0.3mm以上～1.0mm未満		1.0mm以上		はくらく
	1.0mm以上				確認不能の範囲

図 24 (1) 原子炉建屋のひび割れ分布 (耐震壁 地下 1 階 RA 通り)