

KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建 屋 名

1号機海水機器建屋

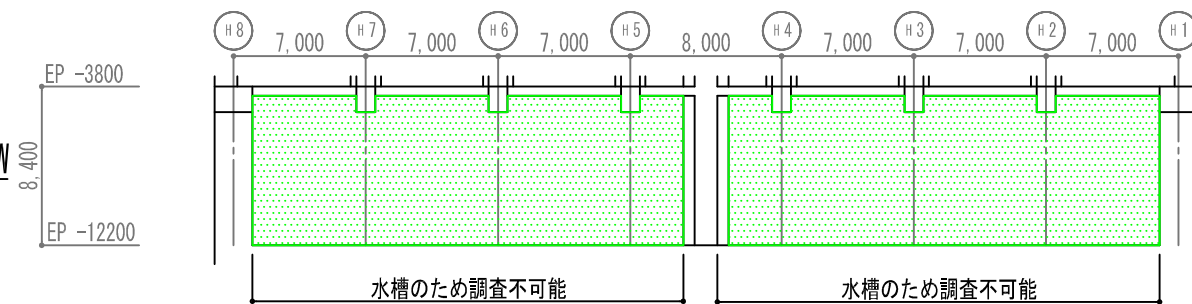
階 数

地下2階(1/2)

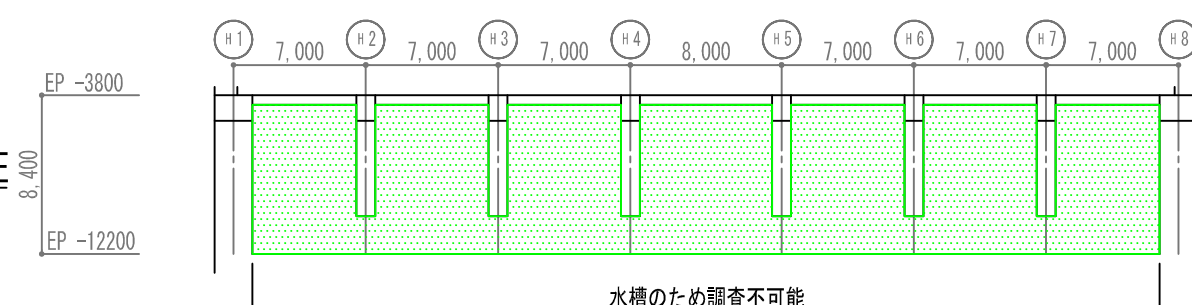
部 位

耐震壁 HA HI H1 H8 通り

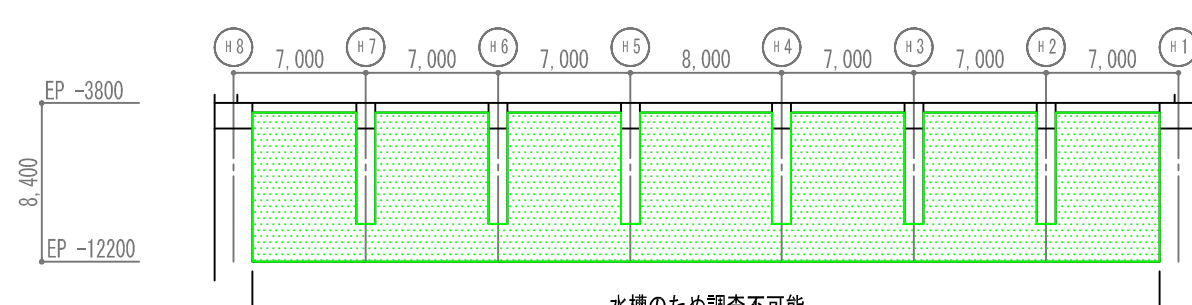
K1-B2F-AB-W



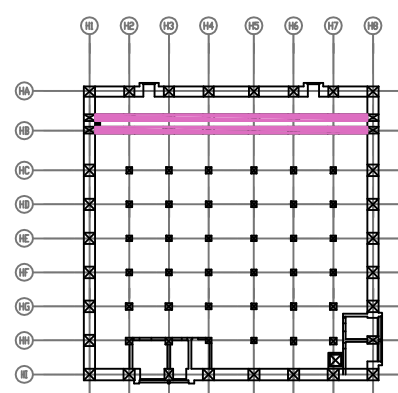
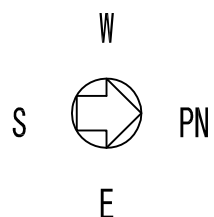
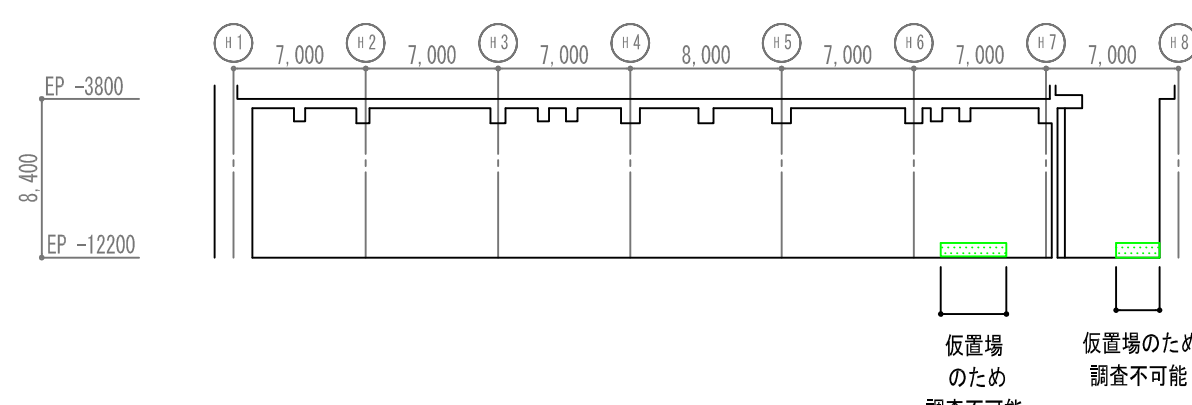
K1-B2F-AB-E



K1-B2F-B-W



K1-B2F-B-E



KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建 屋 名

1号機海水機器建屋

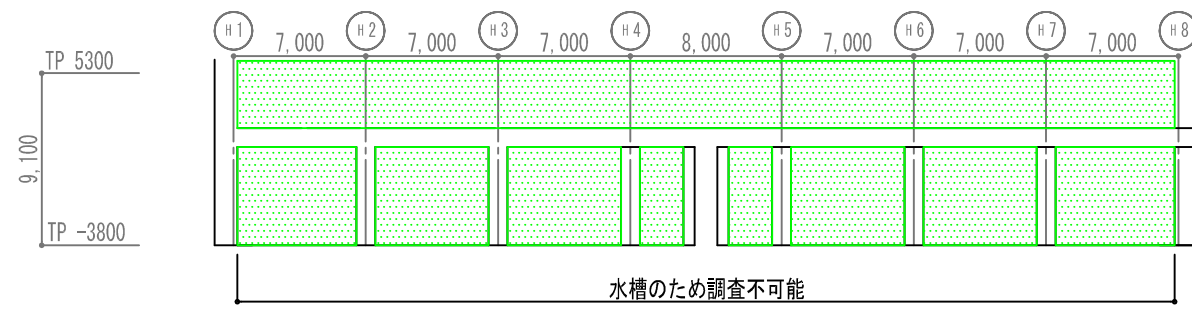
階 数

地下2階(2/2)

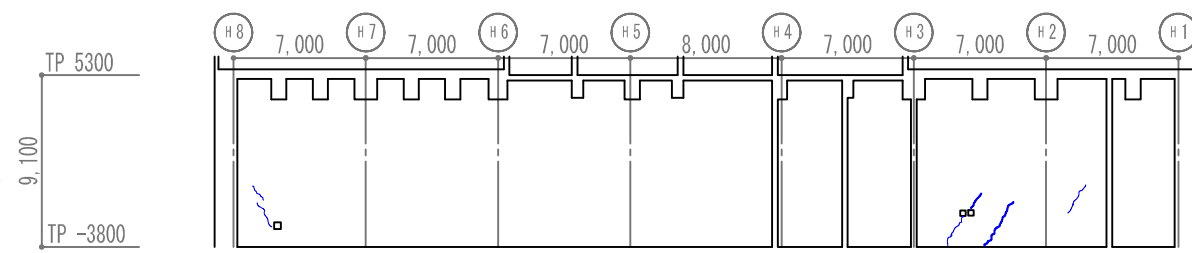
部 位

耐震壁 HAB HB 通り

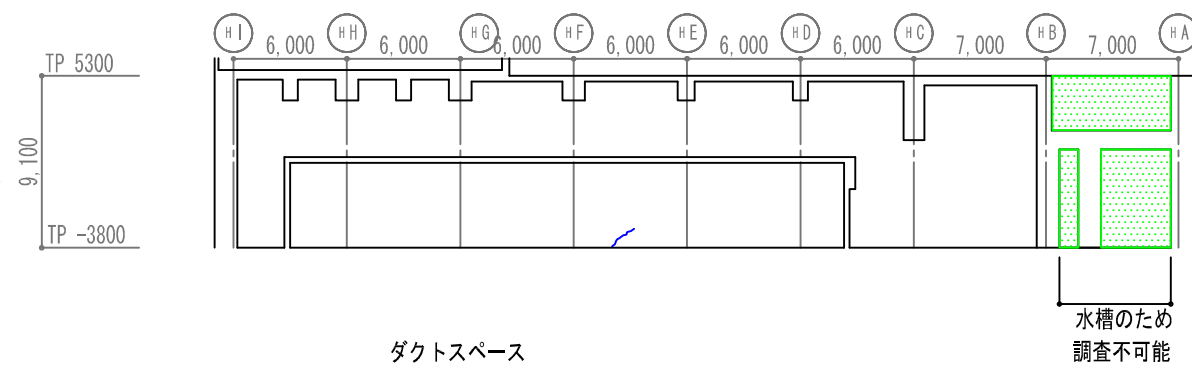
K1-B1F-A-E



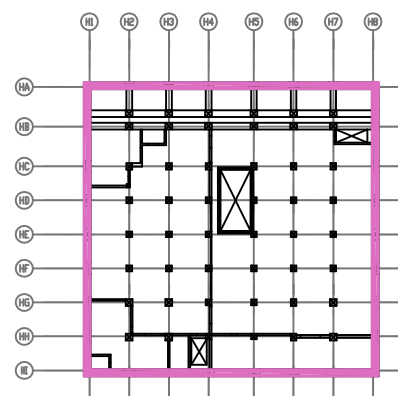
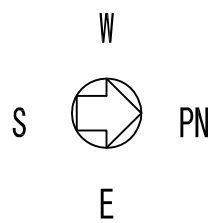
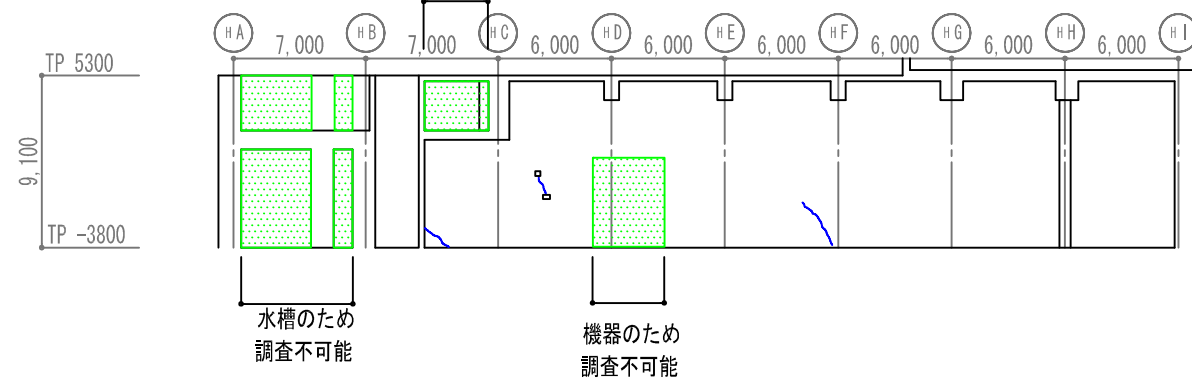
K1-B1F-I-W



K1-B1F-1-N



K1-B1F-8-S



KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建 屋 名

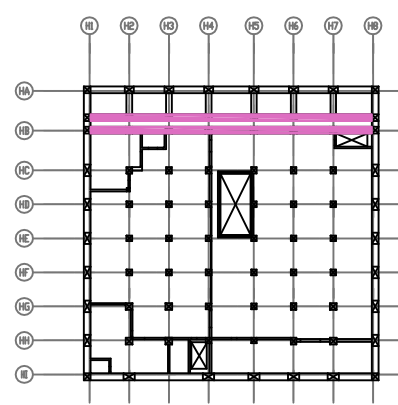
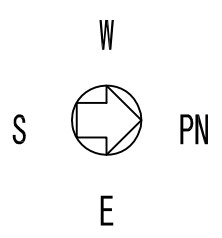
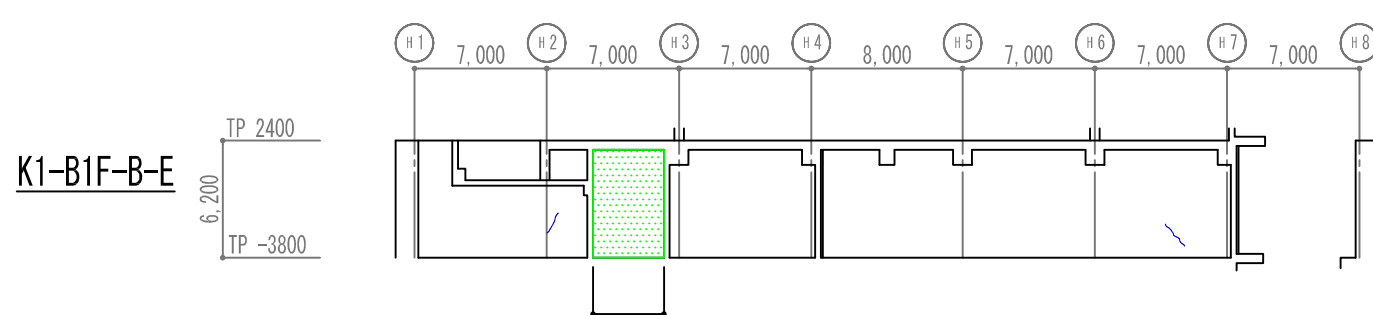
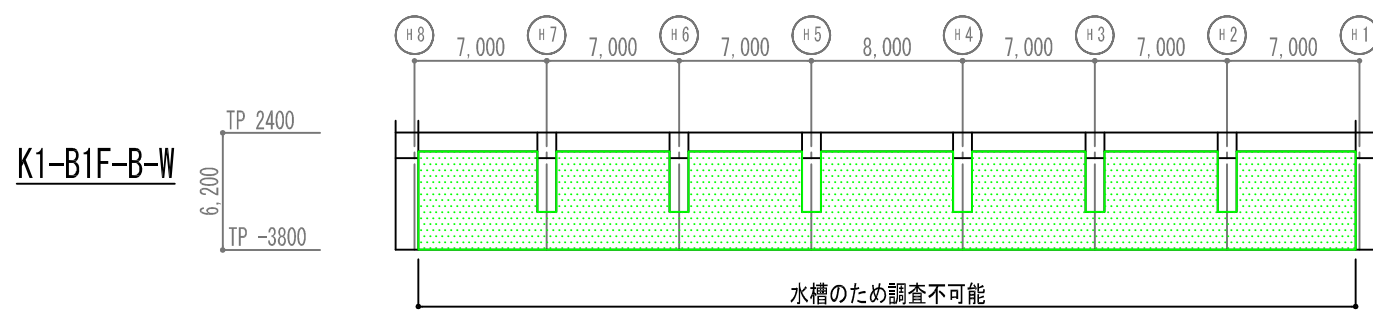
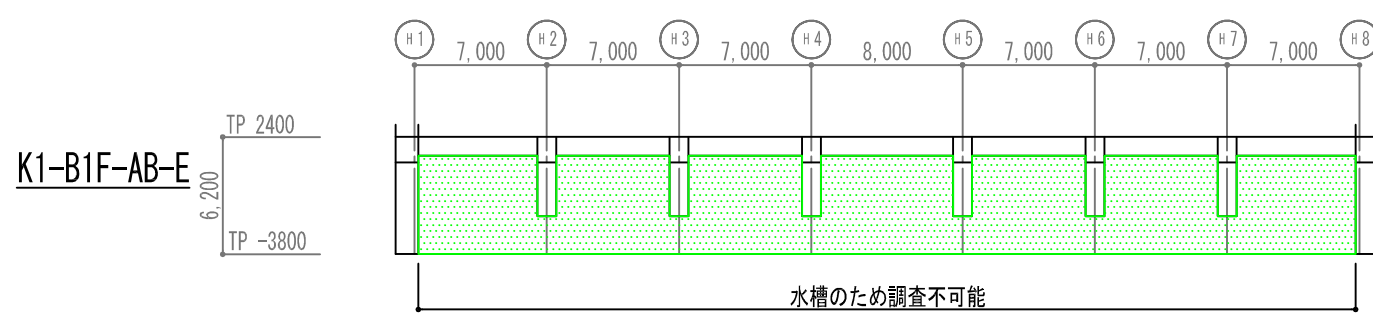
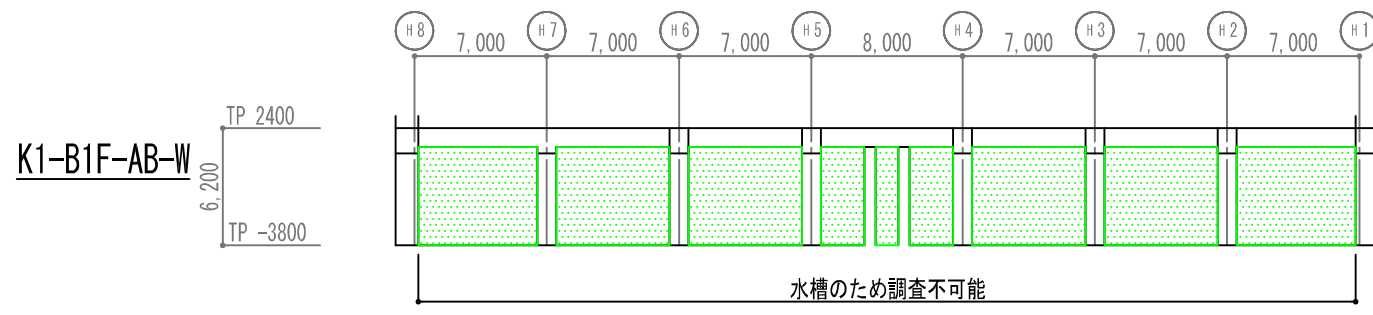
1号機海水機器建屋

階 数

地下1階(1/2)

部 位

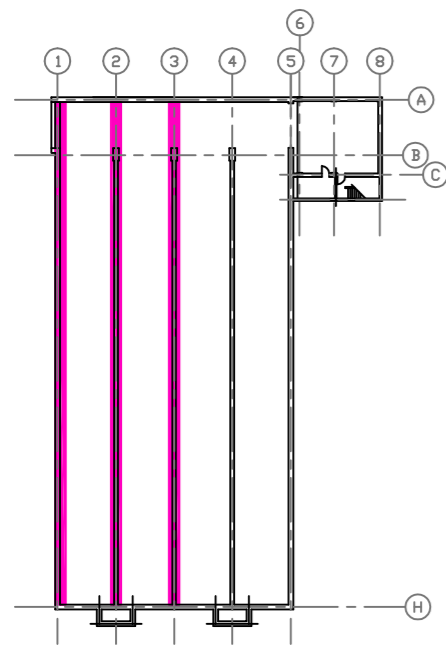
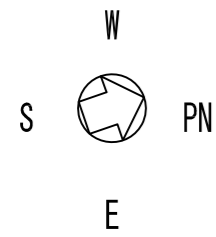
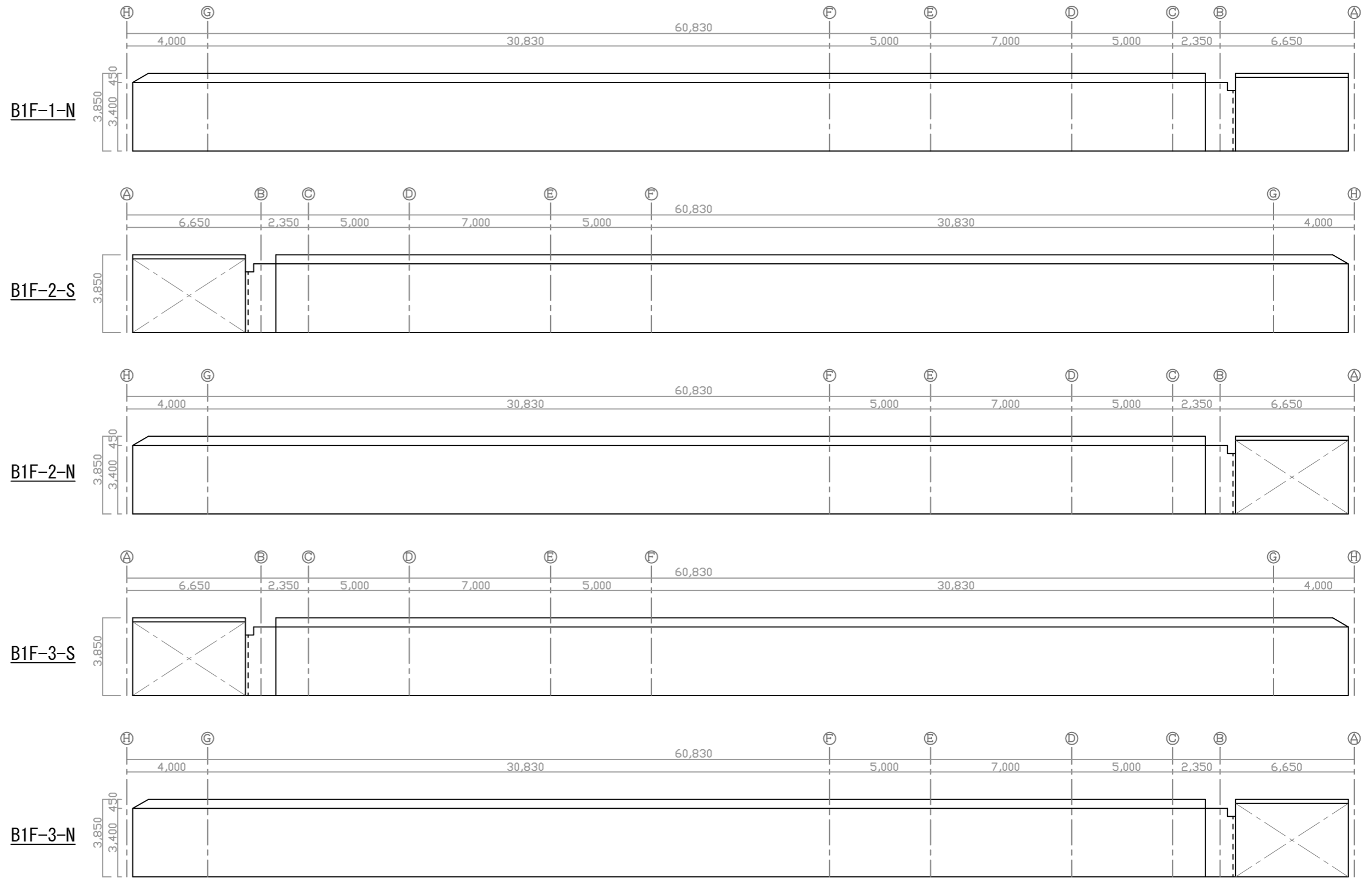
耐震壁 HA HI H1 H8 通り



KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

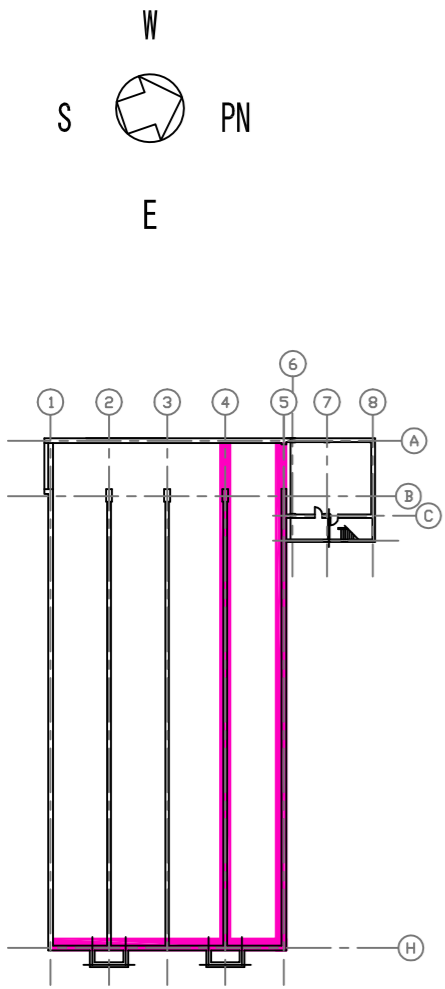
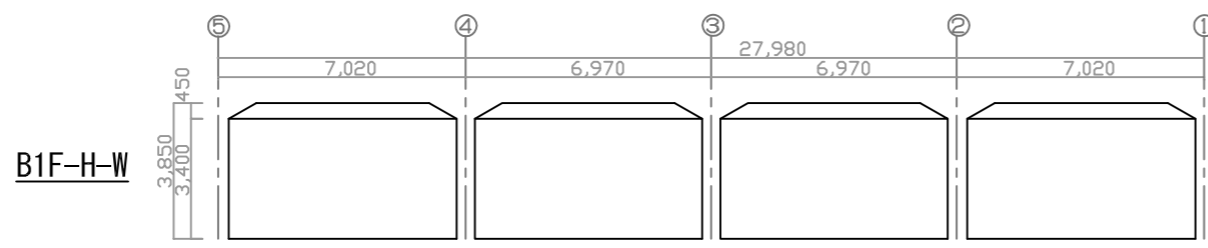
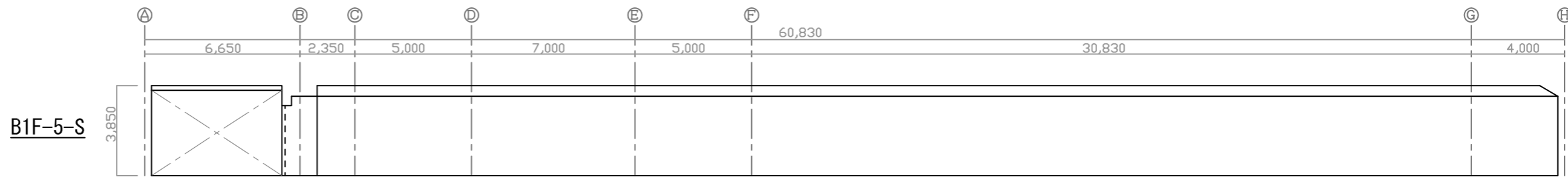
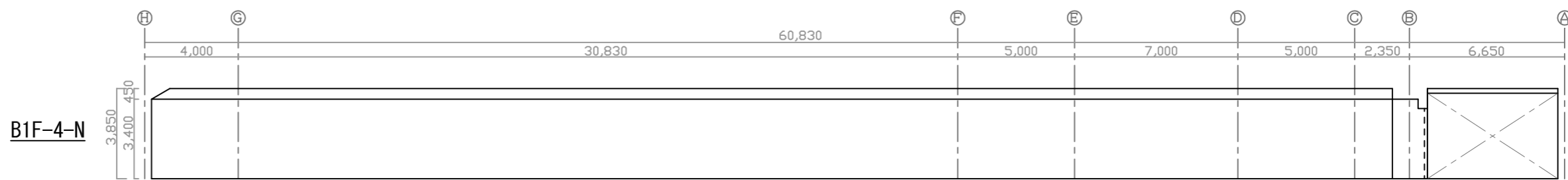
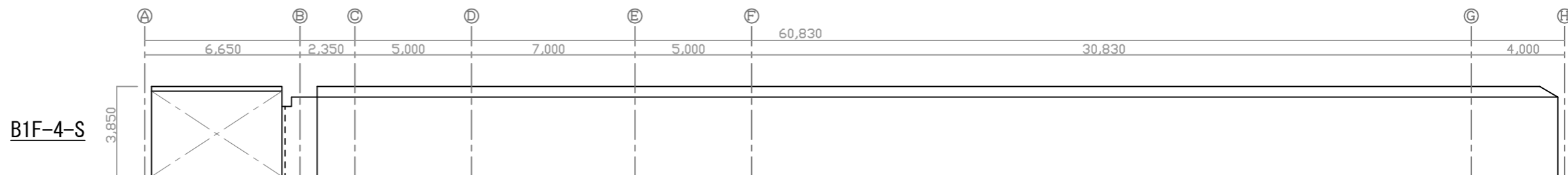
ひび割れ調査図 (展開図)	建 屋 名	1号機海水機器建屋	階 数	地下1階(2/2)	部 位	耐震壁 HAB HB 通り
---------------	-------	-----------	-----	-----------	-----	---------------



KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

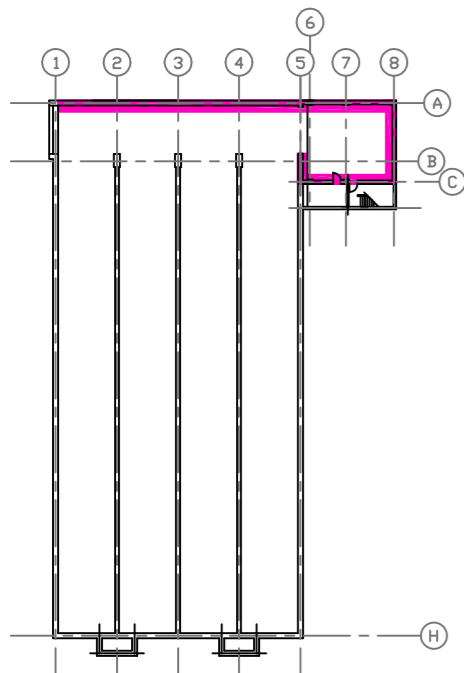
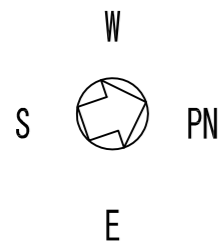
ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)	階数	地下1階 (1/3)	部位	耐震壁 1・2・3 通り
---------------	-----	---------------	----	------------	----	--------------



KEY PLAN

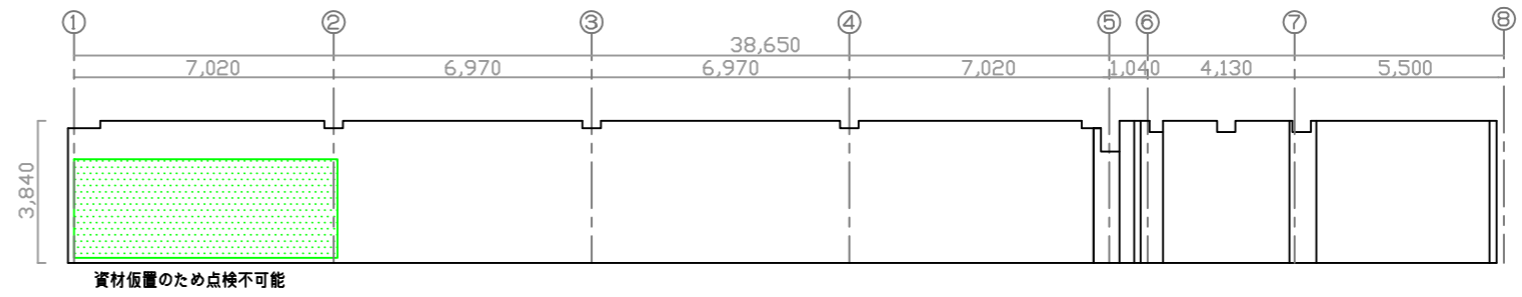
- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)	建 屋 名	固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)	階 数	地下1階 (2/3)	部 位	耐震壁 4・5・H 通り
---------------	-------	---------------	-----	------------	-----	--------------

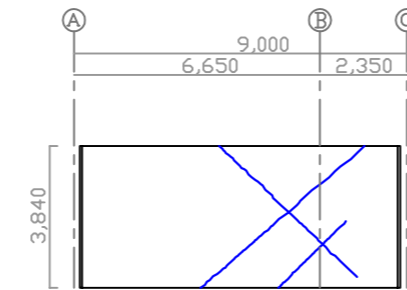


KEY PLAN

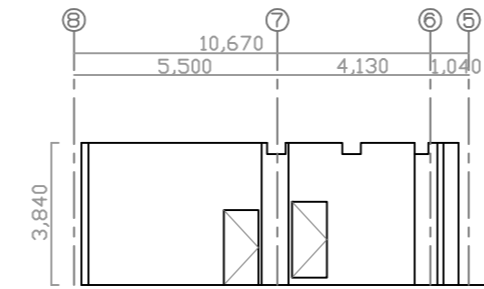
B1F-A-E



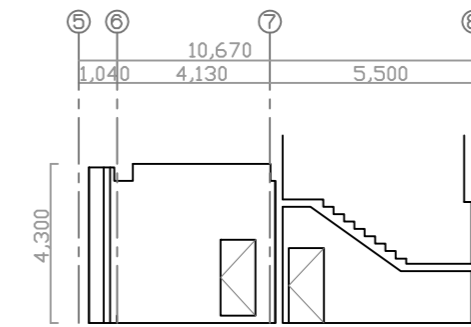
B1F-8-S



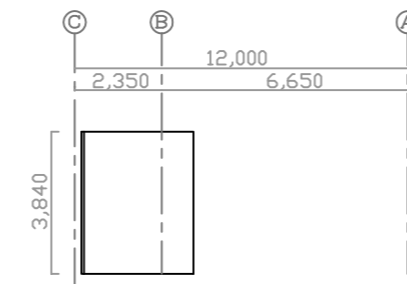
B1F-C-W



B1F-C-E



B1F-5-N



凡 例

- 地震によるひび割れ
- 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)

建 屋 名

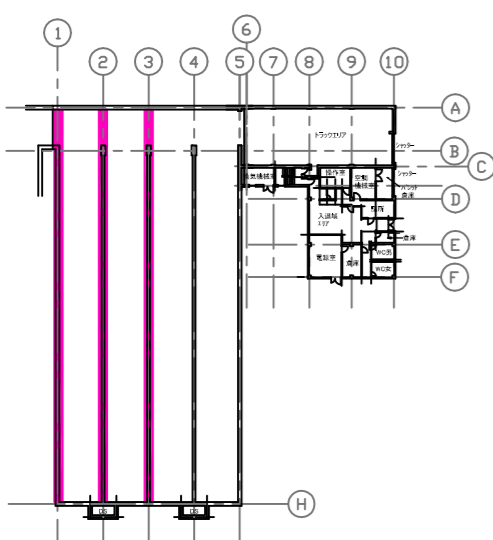
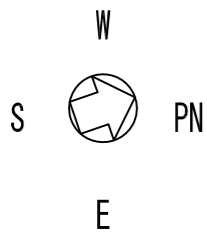
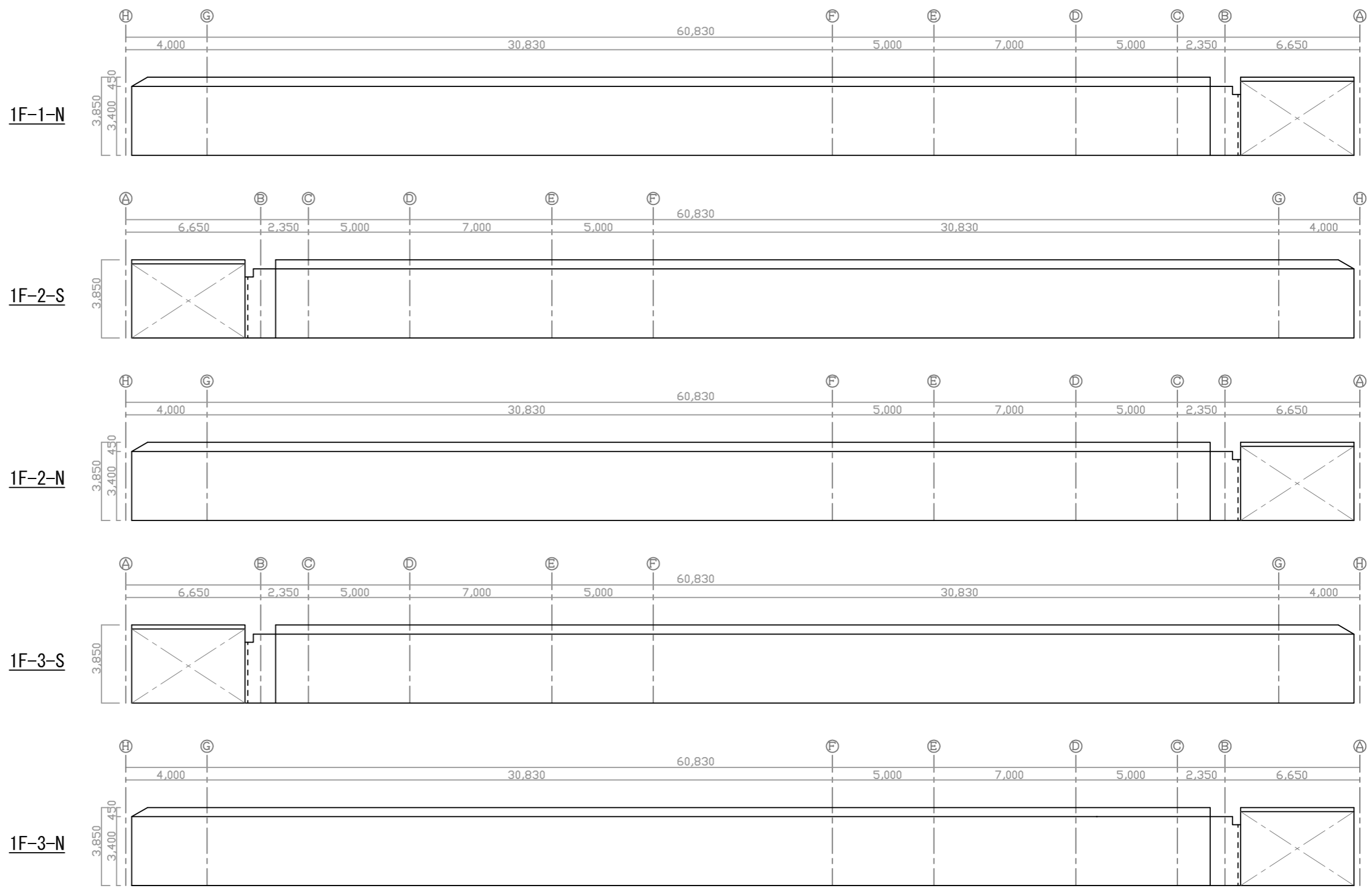
固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)

階 数

地下1階 (3/3)

部 位

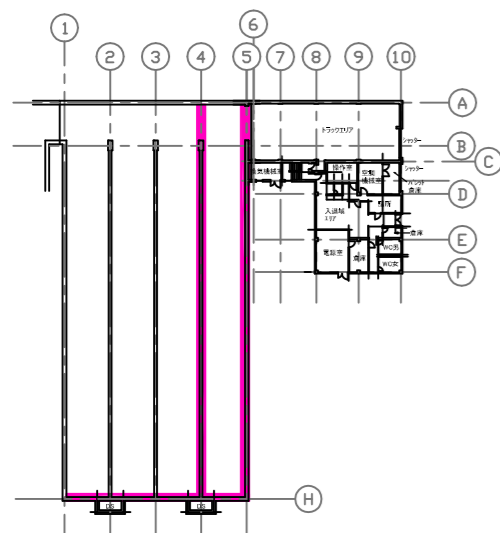
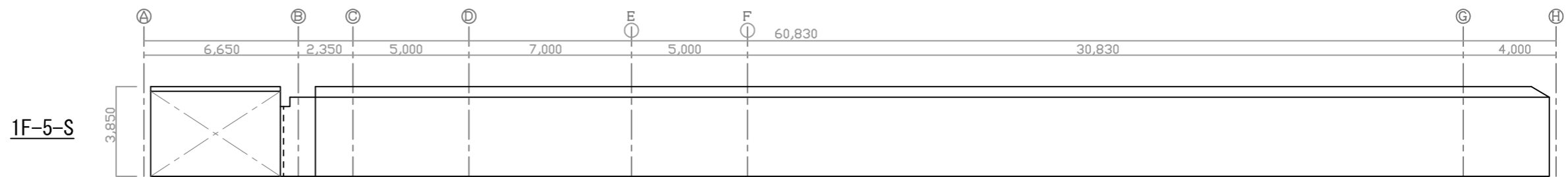
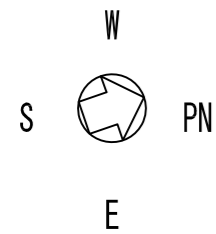
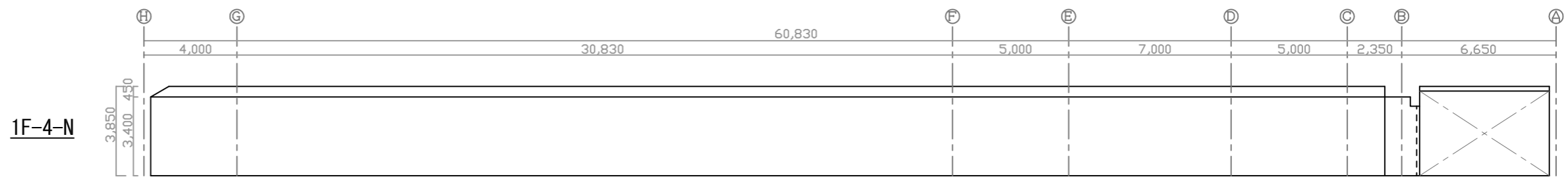
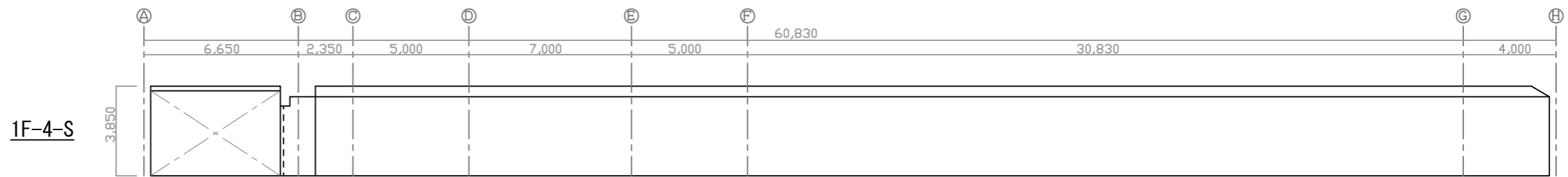
耐震壁 5・8・A・C 通り



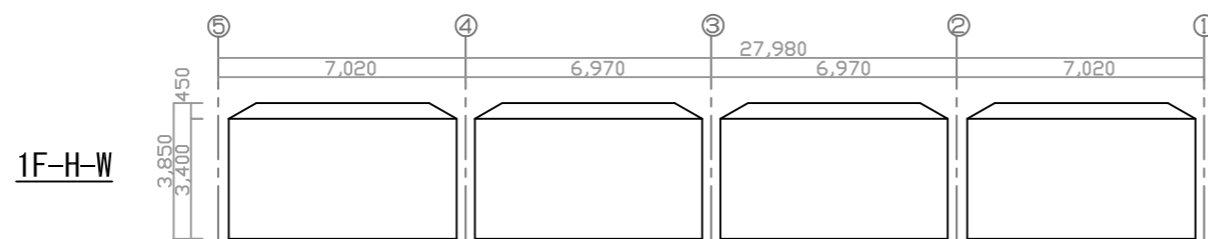
KEY PLAN

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)	階数	1階(1/3)	部位	耐震壁1・2・3通り
---------------	-----	---------------	----	---------	----	------------



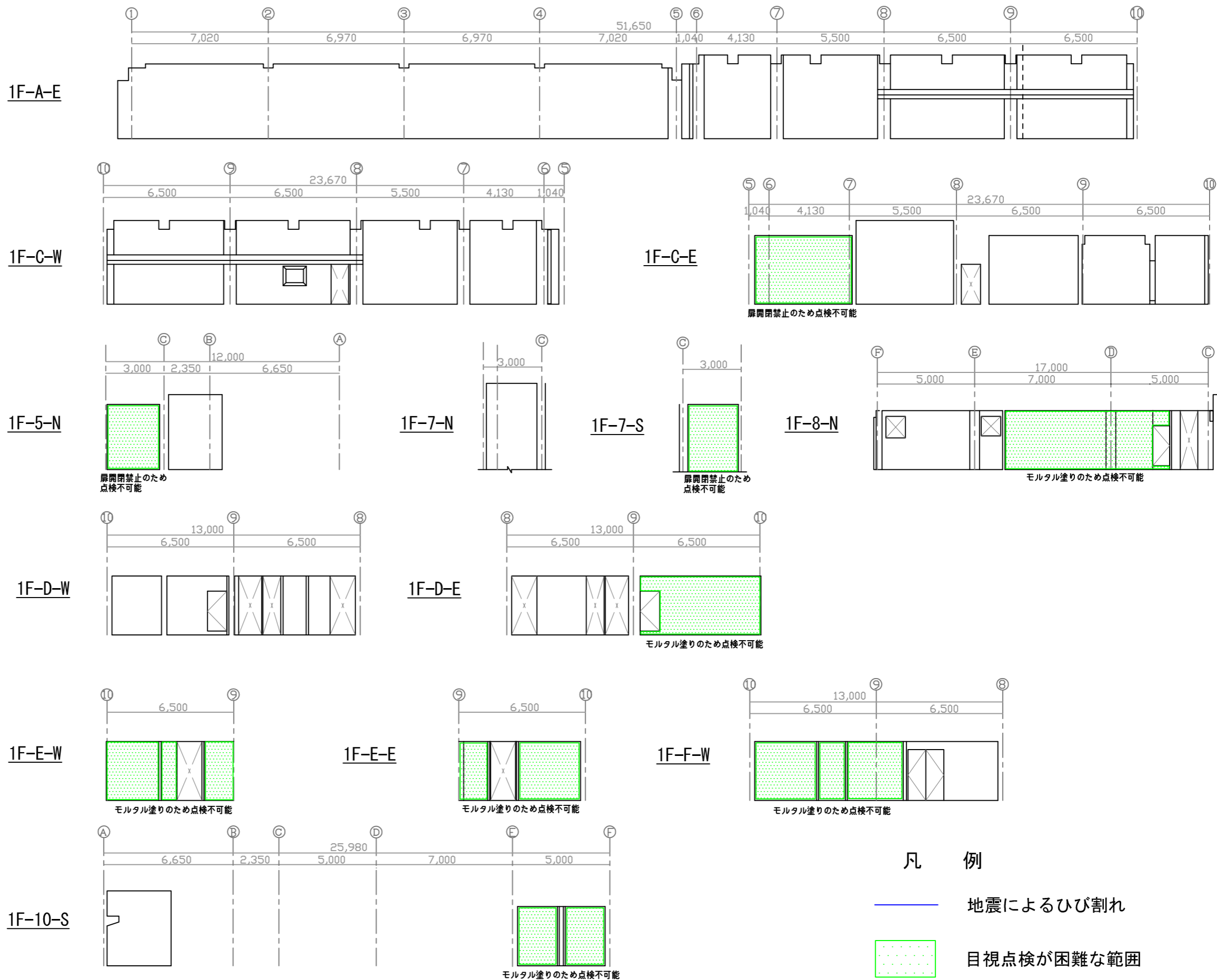
KEY PLAN



1F-H-W

- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)	階数	1階(2/3)	部位	耐震壁 4・5・H 通り
---------------	-----	---------------	----	---------	----	--------------



ひび割れ調査図 (展開図)

建屋名

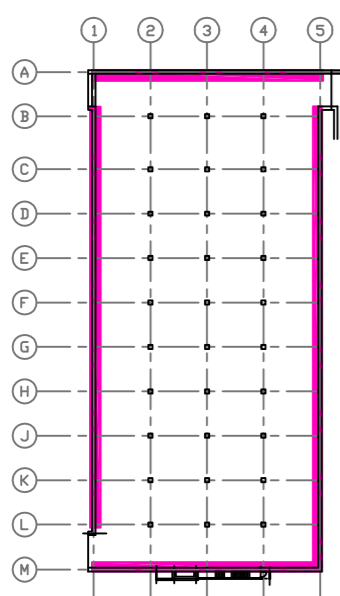
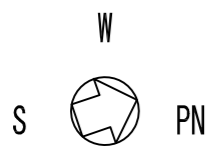
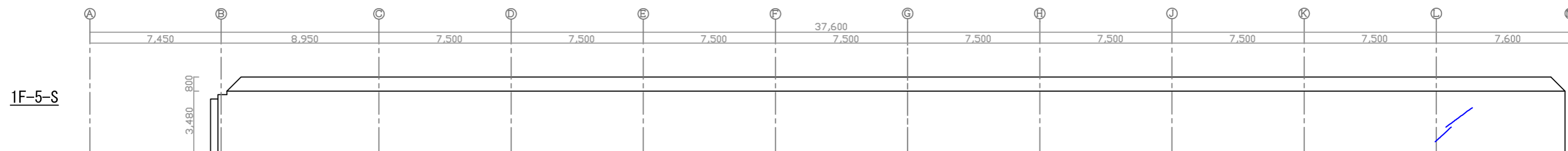
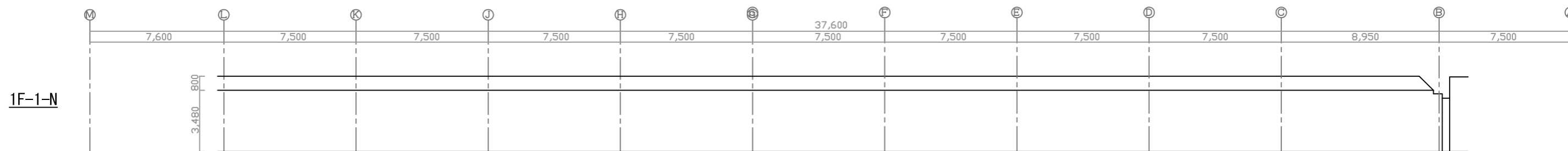
固体廃棄物貯蔵庫(第1棟)

階数

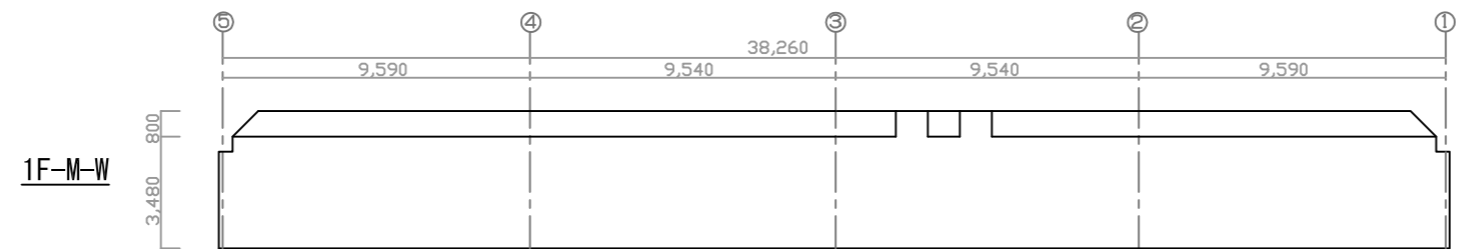
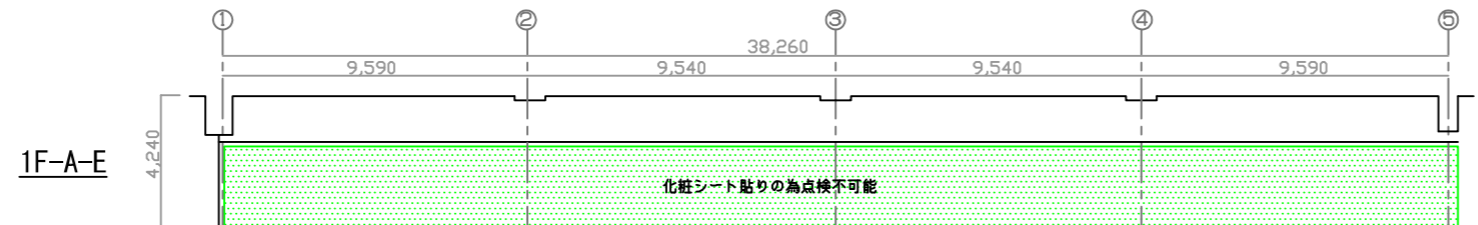
1階(3/3)

部位

耐震壁 5・7・8・10・A・C・D・E・F 通り



KEY PLAN

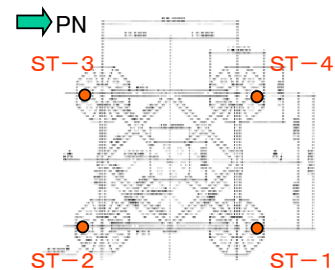


- 凡 例
- 地震によるひび割れ
 - 目視点検が困難な範囲

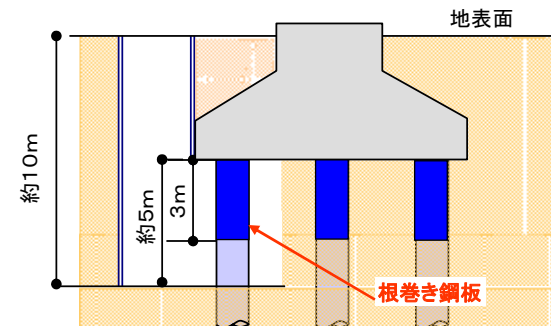
ひび割れ調査図 (展開図)	建屋名	固体廃棄物貯蔵庫(第2棟)	階数	1階	部位	耐震壁 1・5・A・M 通り
---------------	-----	---------------	----	----	----	----------------

■基礎杭ひび割れ状況(まとめ)

調査箇所	ひび割れ本数	最大ひび割れ幅 (mm)	最大ひび割れ長さ (m)	損傷度	主なひび割れ発生面
ST-1	損傷なし				
ST-2	4	2.20	2.1	II	西
ST-3	2	0.10	1.7	I	西
ST-4	1	0.10	0.7	I	北



—調査箇所図—



—掘削状況図—

ST-1

フーチング下
まで約3m

1.18m

根巻き鋼板(t=12)

(ひび割れなし)

1.65m

東面 北面 西面 南面

—ひび割れ状況図—

—杭頭状況—

ST-2

フーチング下
まで約3m

1.18m

根巻き鋼板(t=12)

①幅 :0.3mm
長さ:450mm

②幅 :2.2mm
長さ:2,100mm

③幅 :1.6mm
長さ:1,500mm

④幅 :0.35mm
長さ:900mm

1.65m

東面 北面 西面 南面

—ひび割れ状況図—

—杭頭状況—

ST-3

フーチング下
まで約3m

1.18m

根巻き鋼板(t=12)

②幅 :0.1mm
長さ:700mm

①幅 :0.1mm
長さ:1,650mm

1.65m

東面 北面 西面 南面

—ひび割れ状況図—

—杭頭状況—

ST-4

フーチング下
まで約3m

1.18m

根巻き鋼板(t=12)

①幅 :0.1mm
長さ:700mm

1.65m

東面 北面 西面 南面

—ひび割れ状況図—

—杭頭状況—

添付資料 6 1号機屋外重要土木構造物の点検結果

本資料の損傷一覧表・展開図には、新潟県中越沖地震発生後に実施した点検により確認された、地震に起因することを否定できないひび割れおよび剥離・剥落を記載している。

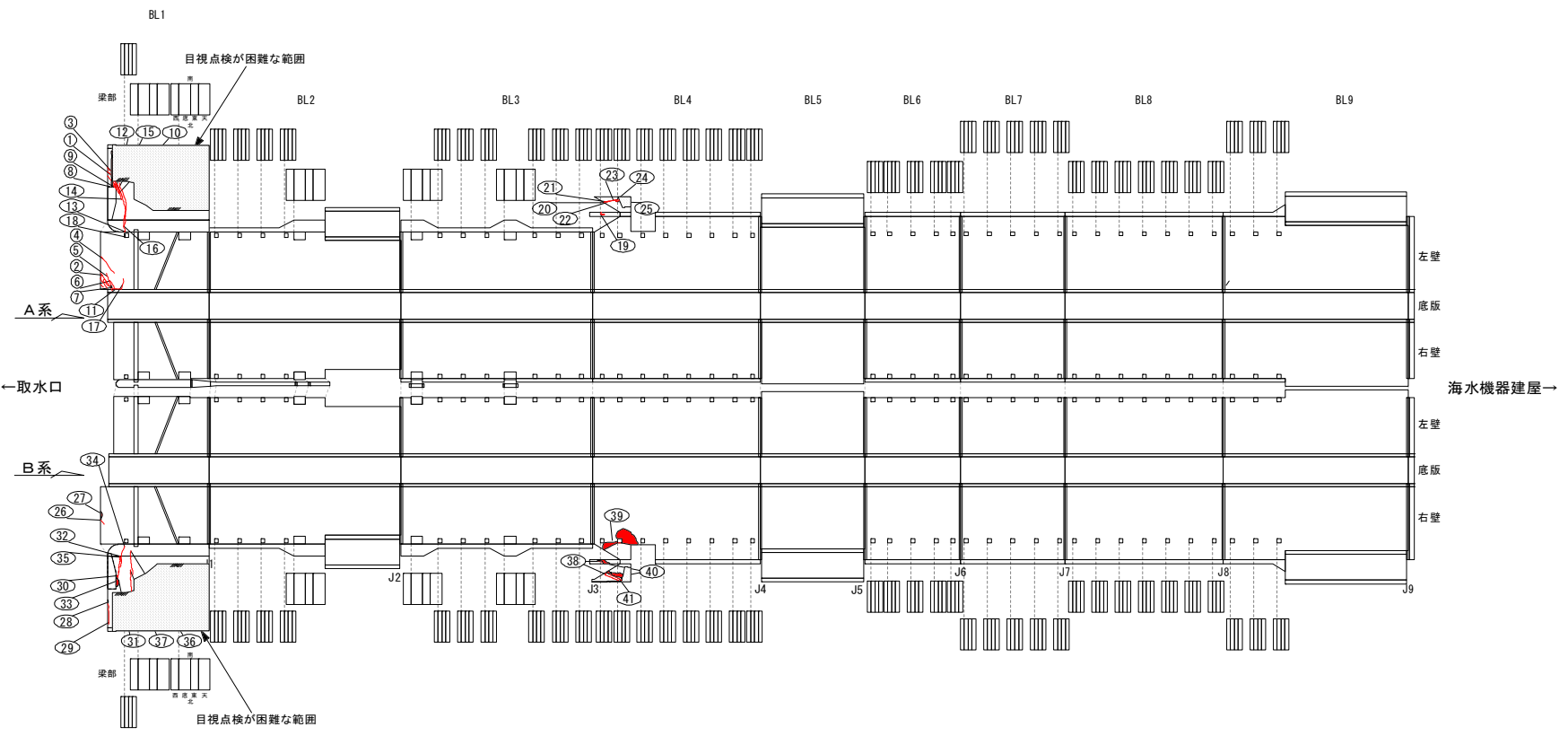
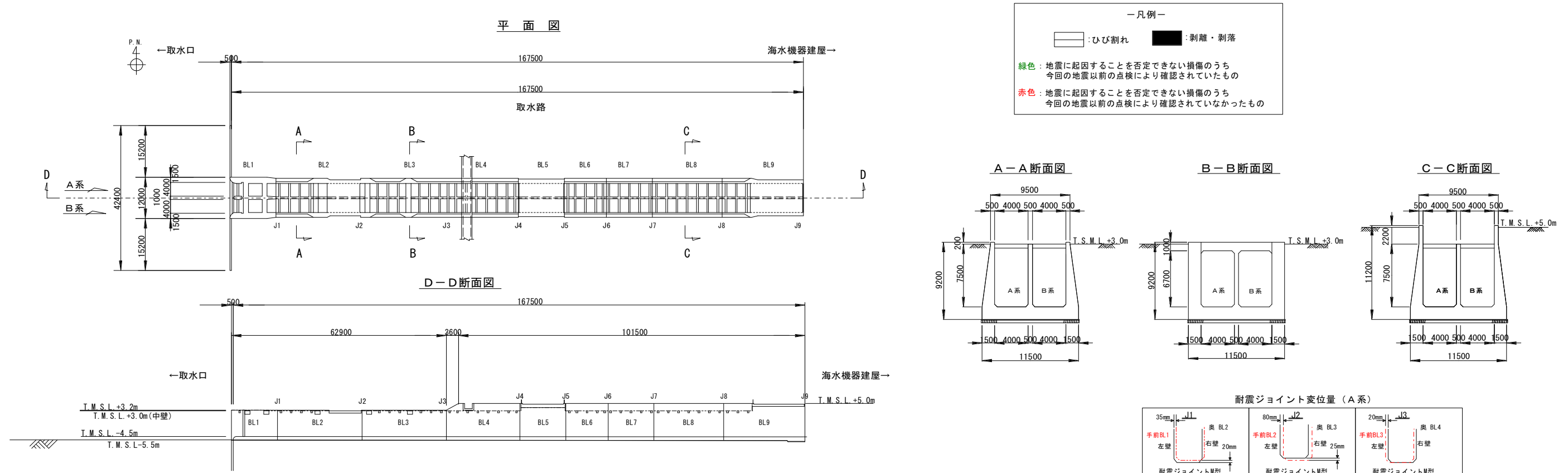
ただし、地震発生前の点検結果と照合することにより、地震前に既に発生していたことが明確な損傷（図中緑色で表記）と、それ以外のもの（図中赤色で表記）を区分して記載した。

損傷一覧表 1号機非常用取水路

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による確認の有無	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m ²)		
A系	1	ひび割れ	2.3	5.0	—	無	
	2	ひび割れ	5.6	20.0	—	無	
	3	ひび割れ	1.2	7.0	—	無	
	4	ひび割れ	2.8	2.0	—	無	
	5	ひび割れ	2.2	20.0	—	無	
	6	ひび割れ	1.3	3.0	—	無	
	7	剥離・剥落	—	—	0.04	無	形状□0.20m×0.20m, t=1cm
	8	剥離・剥落	—	—	0.90	無	形状□4.50m×0.20m, t=7cm
	9	ひび割れ	0.7	3.0	—	無	
	10	ひび割れ	1.9	2.0	—	無	
	11	ひび割れ	1.1	4.0	—	無	
	12	ひび割れ	0.8	3.0	—	無	
	13	ひび割れ	7.0	15.0	—	無	
	14	ひび割れ	2.3	7.0	—	無	
	15	ひび割れ	0.5	3.0	—	無	
	16	ひび割れ	6.4	15.0	—	無	
	17	ひび割れ	1.5	4.0	—	無	
	18	剥離・剥落	—	—	0.02	無	形状□0.20m×0.10m, t=2cm
	19	ひび割れ	0.6	0.5	—	無	
	20	ひび割れ	0.5	0.5	—	無	
	21	ひび割れ	0.9	0.7	—	無	
	22	ひび割れ	1.3	2.0	—	無	
	23	ひび割れ	0.7	1.0	—	無	
	24	ひび割れ	0.2	0.5	—	無	
	25	ひび割れ	0.6	2.5	—	無	

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による確認の有無	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m ²)		
B系	26	ひび割れ	0.8	5.0	—	無	
	27	剥離・剥落	—	—	0.12	無	形状□1.10m×0.11m, t=15cm
	28	剥離・剥落	—	—	0.03	無	形状□0.50m×0.06m, t=1.7cm
	29	ひび割れ	2.7	7.0	—	無	
	30	ひび割れ	1.2	1.5	—	無	
	31	剥離・剥落	—	—	0.33	無	形状□0.83m×0.40m, t=3cm
	32	ひび割れ	3.8	6.0	—	無	
	33	ひび割れ	0.4	0.3	—	無	
	34	ひび割れ	3.2	5.0	—	無	
	35	ひび割れ	0.5	0.2	—	無	
	36	ひび割れ	3.2	0.6	—	無	
	37	ひび割れ	2.8	0.6	—	無	
	38	ひび割れ	3.3	1.5	—	無	
	39	剥離・剥落	—	—	4.70	無	形状□2.85m×1.65m, t=7cm
	40	剥離・剥落	—	—	1.17	無	形状□2.28m×0.51m, t=5cm
	41	ひび割れ	2.0	4.0	—	無	

損傷展開図 1号機非常用取水路 (A系, B系)



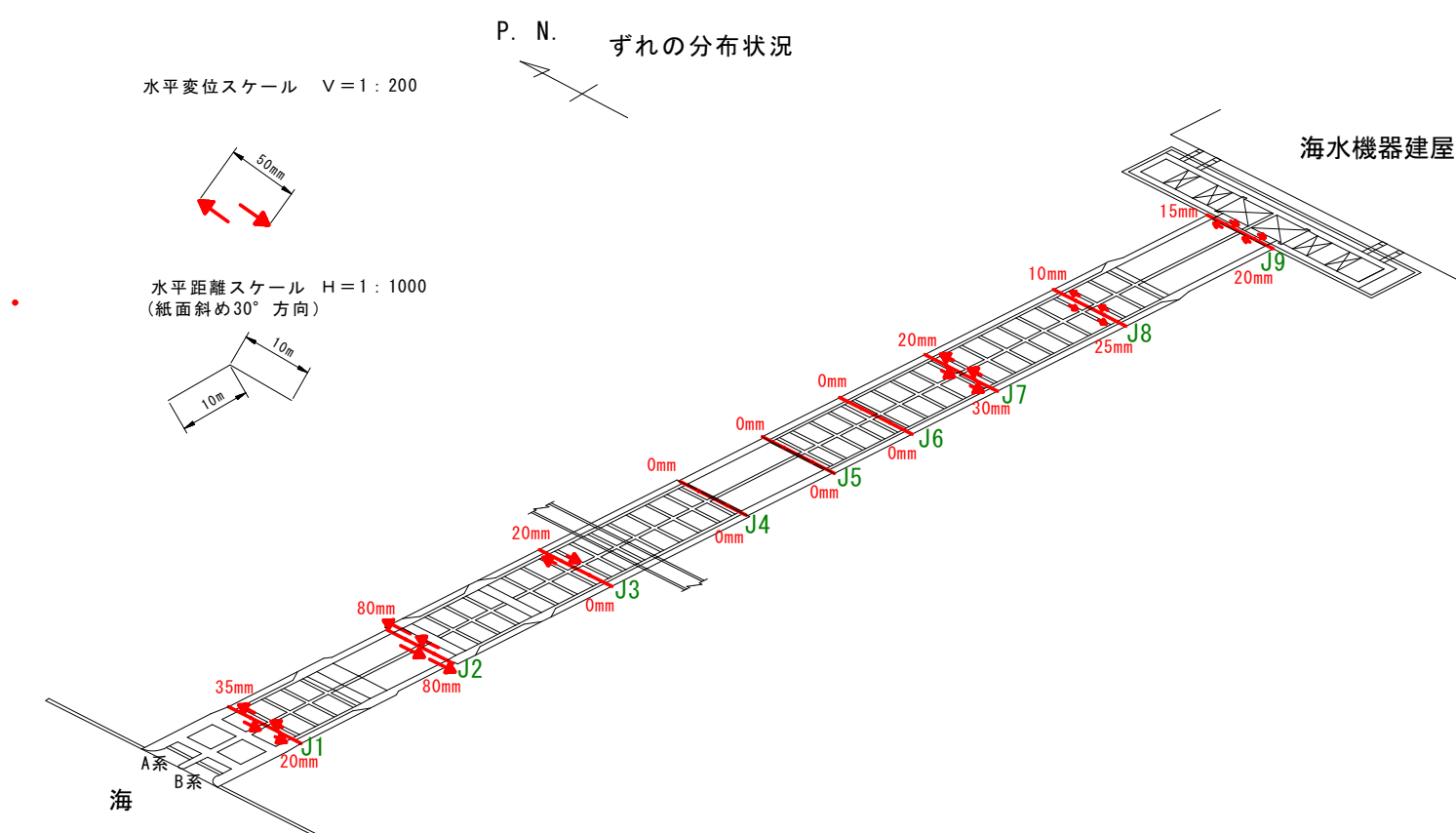
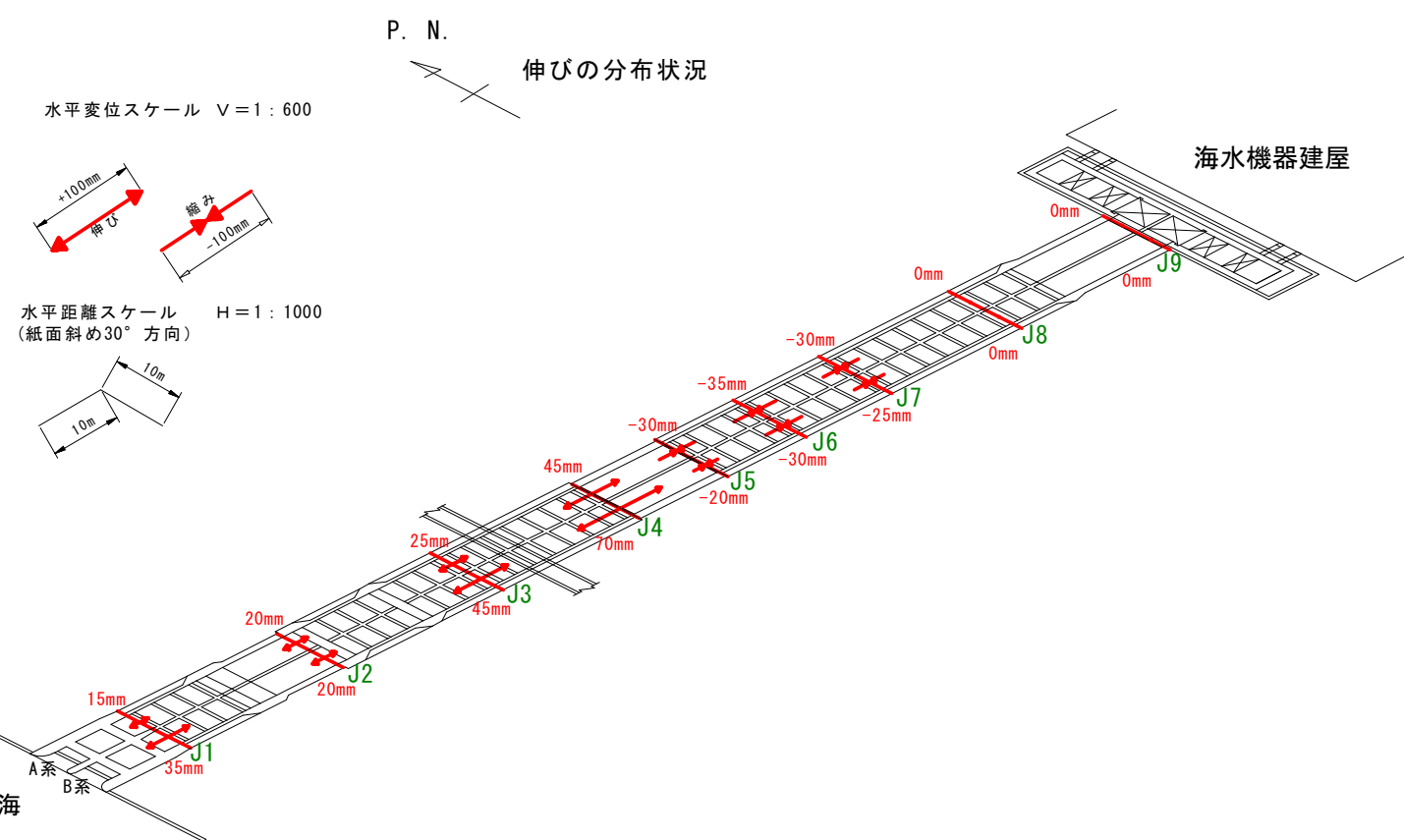
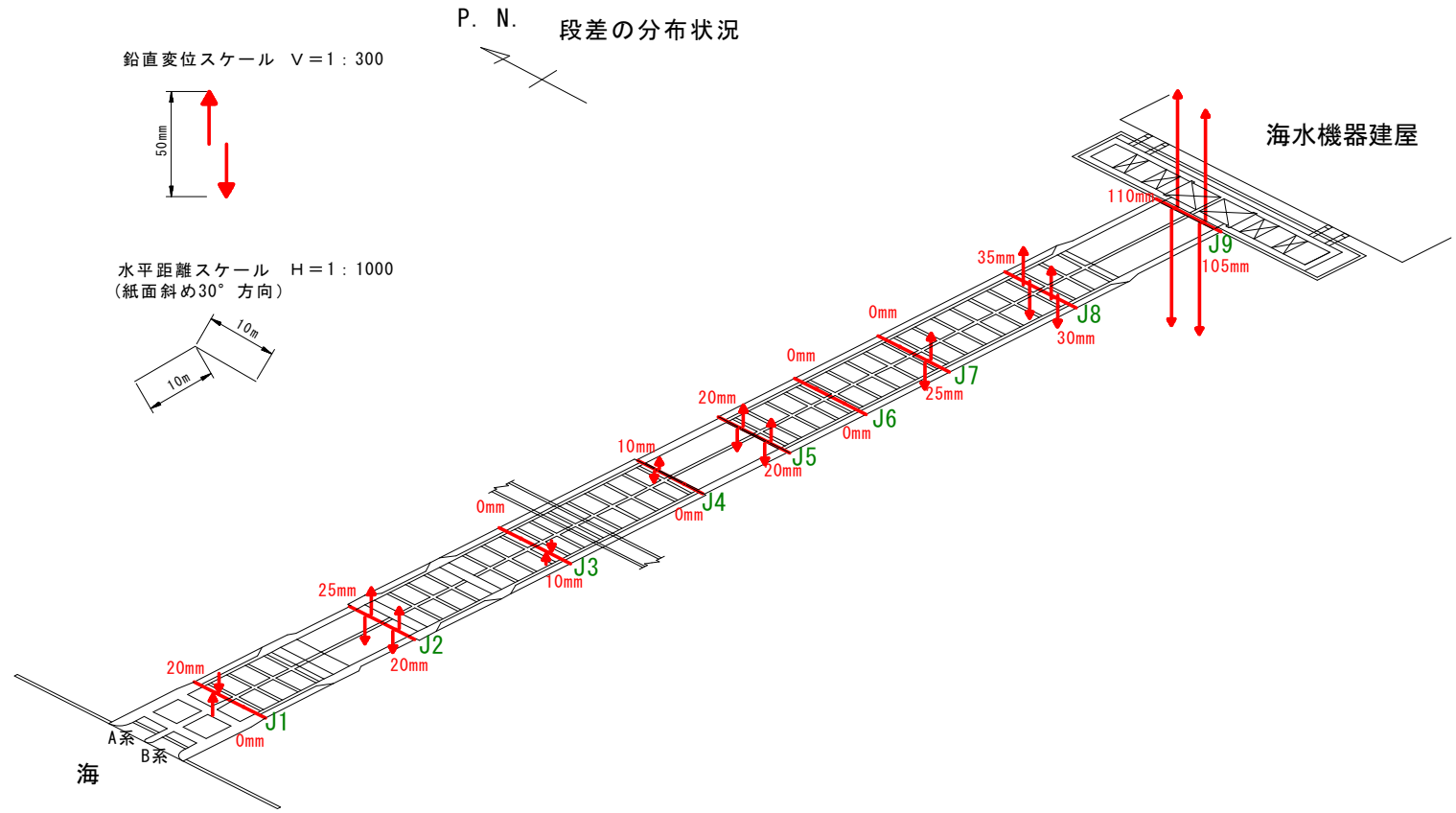
耐震ジョイント変位量 (A系)

<p>35mm J1 奥 BL2</p> <p>手前BL1 左壁 右壁 20mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 15mm</p> <p>段差 20mm</p> <p>ずれ 35mm</p>	<p>80mm J2 奥 BL3</p> <p>手前BL2 左壁 右壁 25mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 25mm</p> <p>段差 25mm</p> <p>ずれ 80mm</p>	<p>20mm J3 奥 BL4</p> <p>手前BL3 左壁 右壁</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 25mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 20mm</p>
<p>J4 奥 BL5</p> <p>手前BL4 左壁 右壁 10mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 45mm</p> <p>段差 10mm</p> <p>ずれ 0mm</p>	<p>J5 奥 BL6</p> <p>手前BL5 左壁 右壁 20mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 0mm</p> <p>段差 20mm</p> <p>ずれ 0mm</p>	<p>J6 奥 BL7</p> <p>手前BL6 左壁 右壁</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び -30mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 0mm</p>
<p>20mm J7 奥 BL8</p> <p>手前BL7 左壁 右壁</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び -30mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 20mm</p>	<p>10mm J8 奥 BL9</p> <p>手前BL8 左壁 右壁 35mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 0mm</p> <p>段差 35mm</p> <p>ずれ 10mm</p>	<p>15mm J9 奥 BL10</p> <p>手前BL9 左壁 右壁 110mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 0mm</p> <p>段差 110mm</p> <p>ずれ 15mm</p>

耐震ジョイント変位量 (B系)

<p>20mm J1 奥 BL2</p> <p>手前BL1 左壁 右壁 10mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 35mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 20mm</p>	<p>80mm J2 奥 BL3</p> <p>手前BL2 左壁 右壁 20mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 20mm</p> <p>段差 20mm</p> <p>ずれ 80mm</p>	<p>J3 奥 BL4</p> <p>手前BL3 左壁 右壁 10mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 45mm</p> <p>段差 10mm</p> <p>ずれ 0mm</p>
<p>J4 奥 BL5</p> <p>手前BL4 左壁 右壁</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 70mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 0mm</p>	<p>J5 奥 BL6</p> <p>手前BL5 左壁 右壁 20mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び -20mm</p> <p>段差 20mm</p> <p>ずれ 0mm</p>	<p>J6 奥 BL7</p> <p>手前BL6 左壁 右壁</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び -30mm</p> <p>段差 0mm</p> <p>ずれ 0mm</p>
<p>30mm J7 奥 BL8</p> <p>手前BL7 左壁 右壁 25mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び -25mm</p> <p>段差 25mm</p> <p>ずれ 30mm</p>	<p>25mm J8 奥 BL9</p> <p>手前BL8 左壁 右壁 30mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 0mm</p> <p>段差 30mm</p> <p>ずれ 25mm</p>	<p>20mm J9 奥 BL10</p> <p>手前BL9 左壁 右壁 105mm</p> <p>耐震ジョイントM型</p> <p>伸び 0mm</p> <p>段差 105mm</p> <p>ずれ 20mm</p>

耐震ジョイント部の変位量分布図

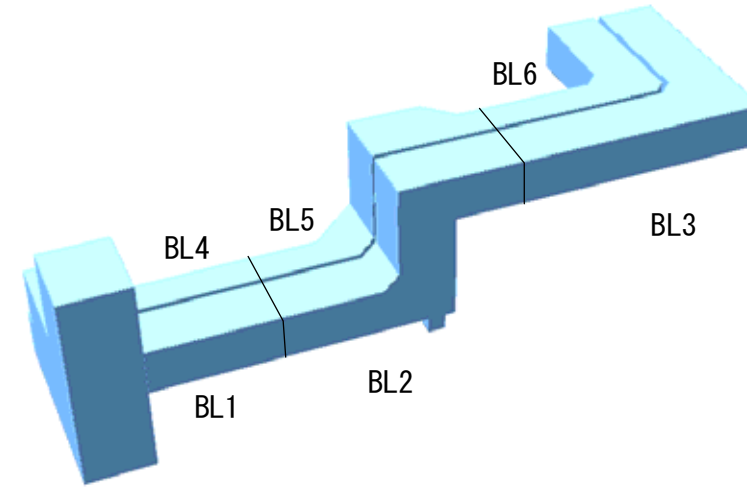
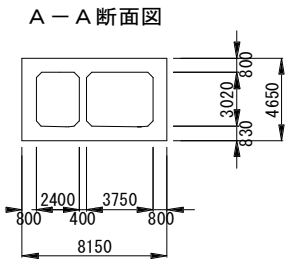
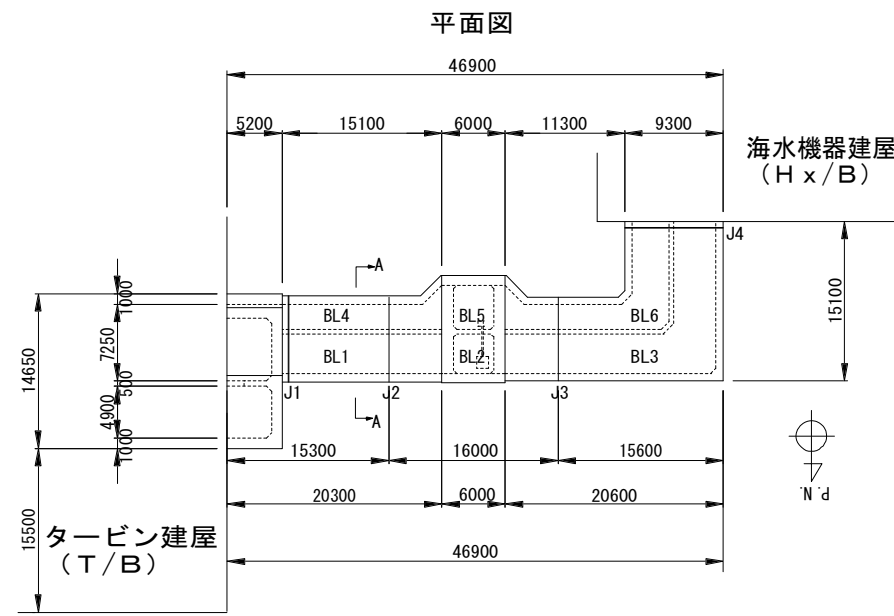


損傷一覧表 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト

部位	損傷No	損傷種類	諸元			今回の地震以前の点検による 確認の有無（報告書名称）	備考
			延長(m)	幅(mm)	面積(m ²)		
B系	1	ひび割れ	8.1	0.1	—	無	
	2	ひび割れ	2.5	0.1	—	無	
	3	ひび割れ	1.9	0.1	—	無	
	4	ひび割れ	5.1	0.1	—	無	
	5	ひび割れ	20.0	0.1	—	無	

※原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）には、地震に起因することを否定できない損傷は認められない。

損傷展開図 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト (A系)

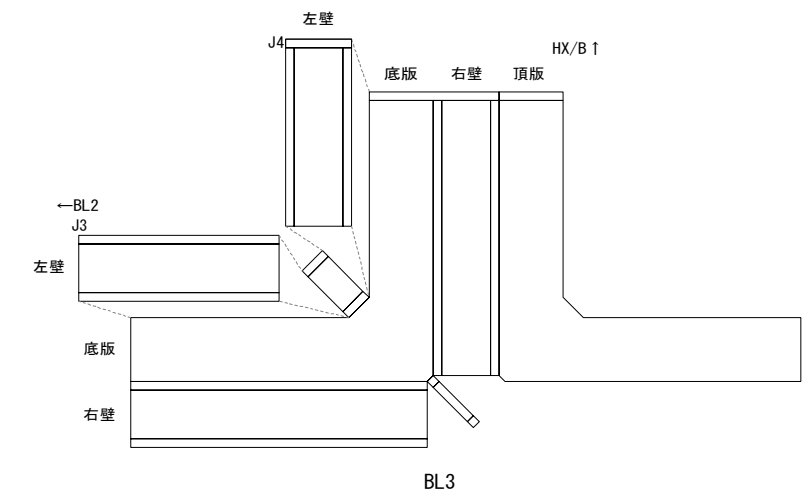
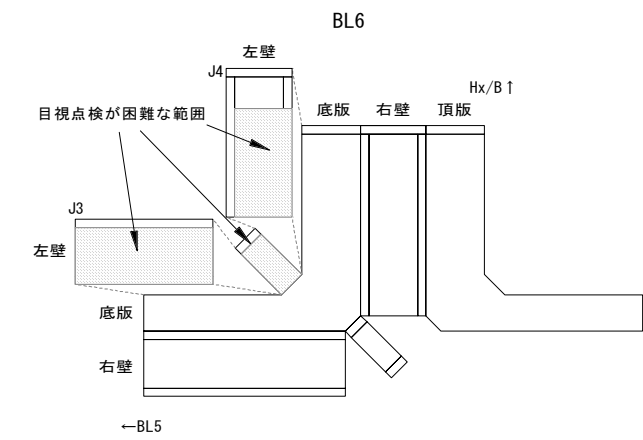
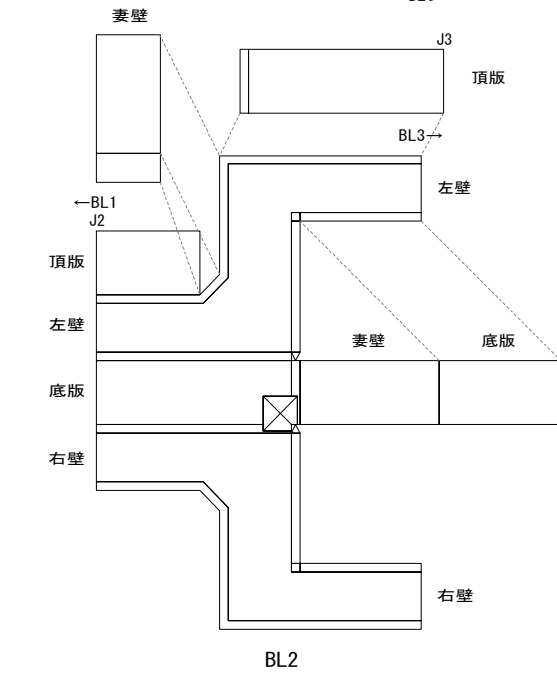
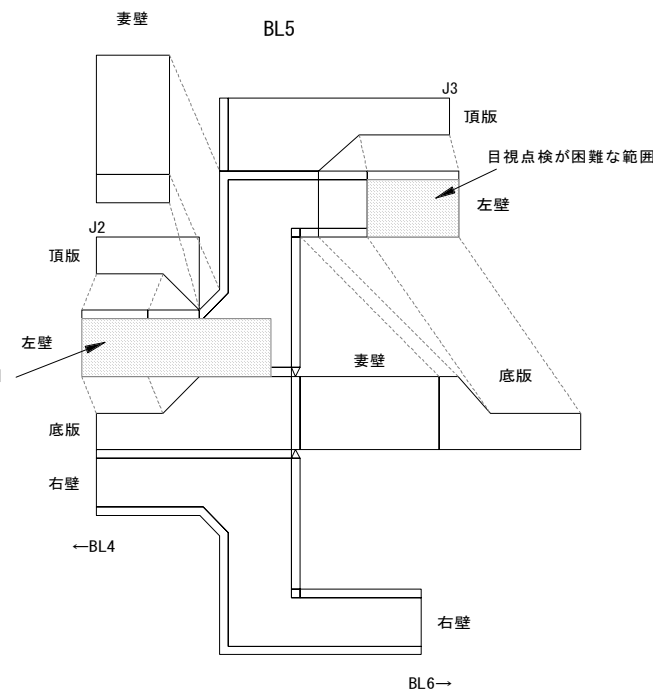
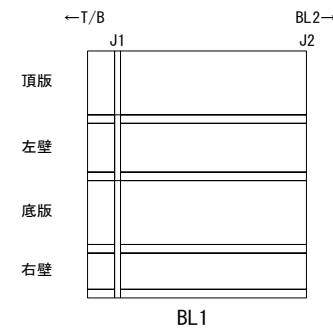
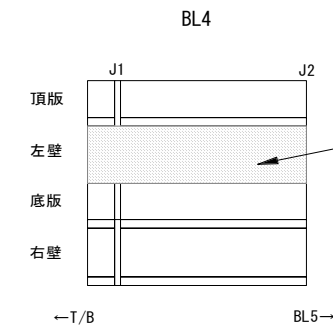


—凡例—

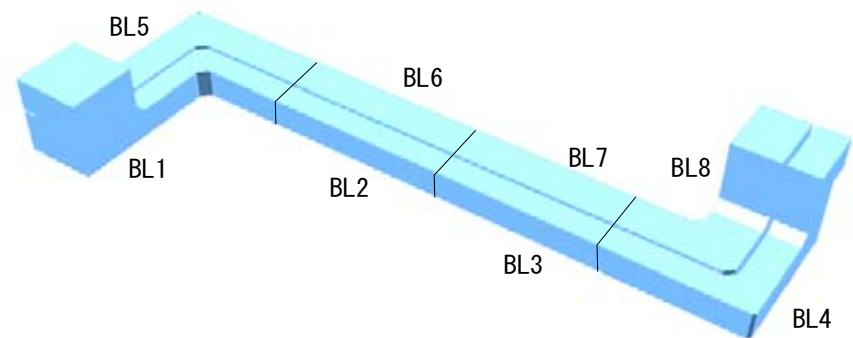
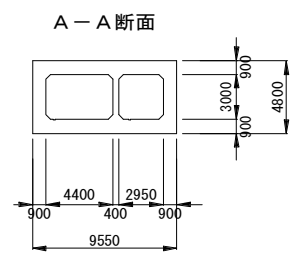
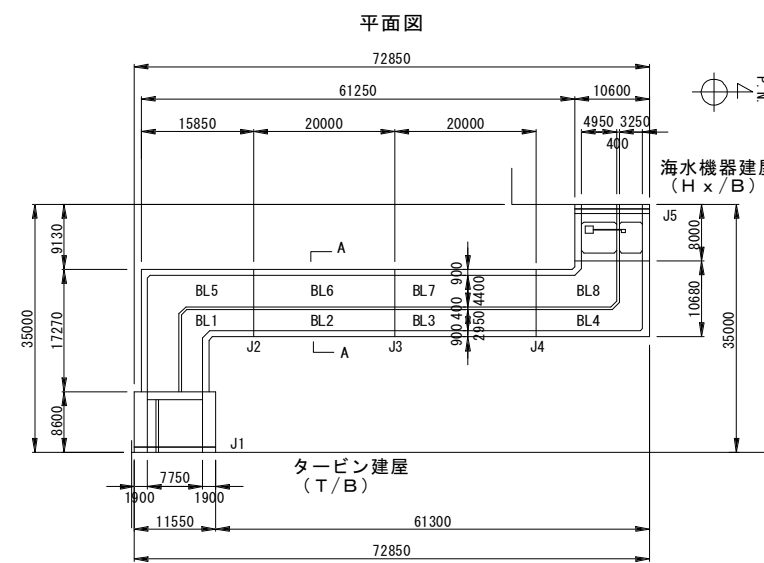
□ : ひび割れ ■ : 剥離・剥落

緑色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち
今回の地震以前の点検により確認されていたもの

赤色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち
今回の地震以前の点検により確認されていなかったもの



損傷展開図 1号機原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)

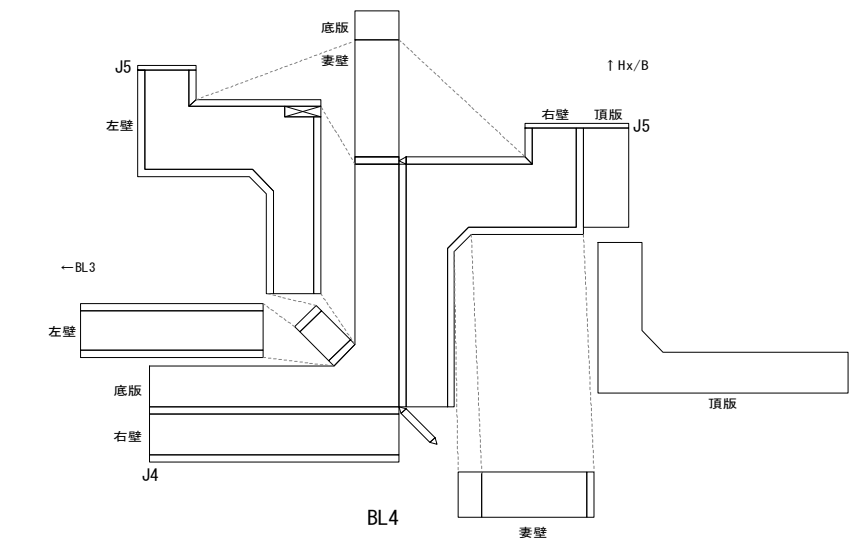
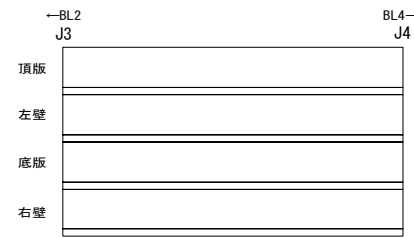
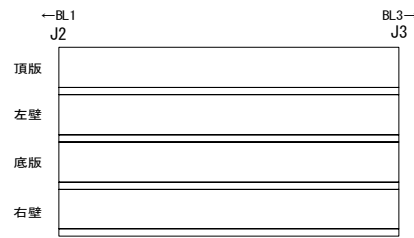
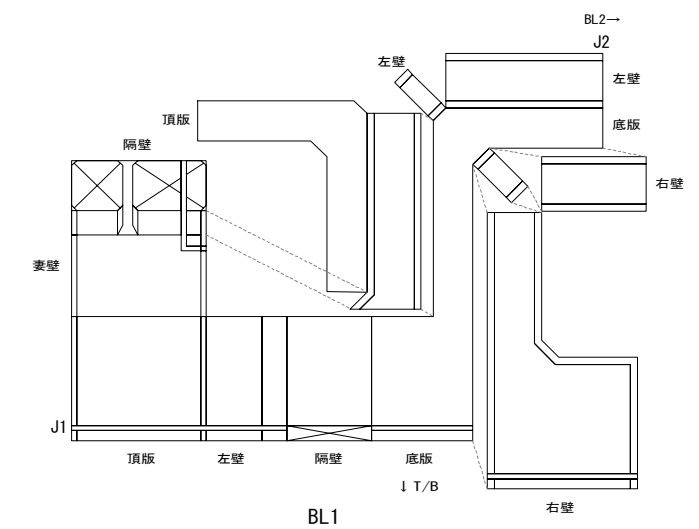
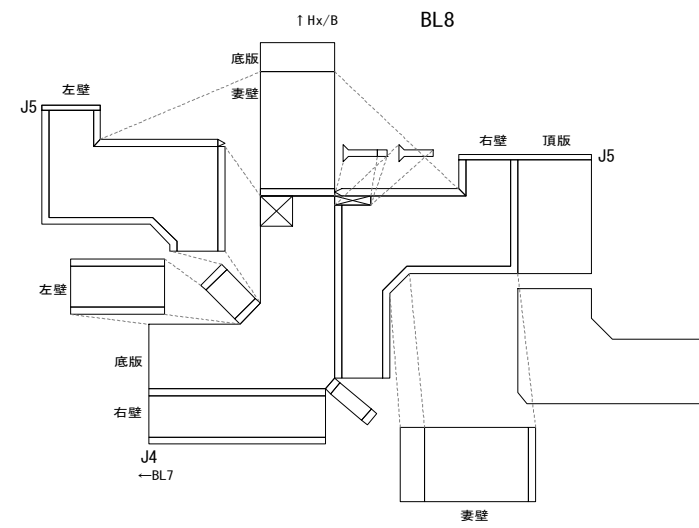
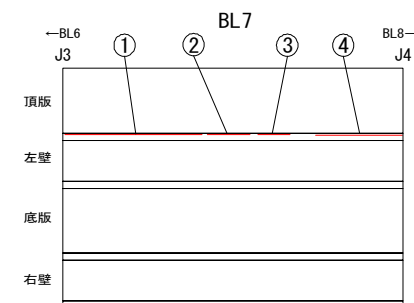
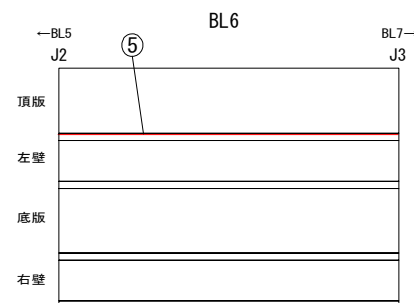
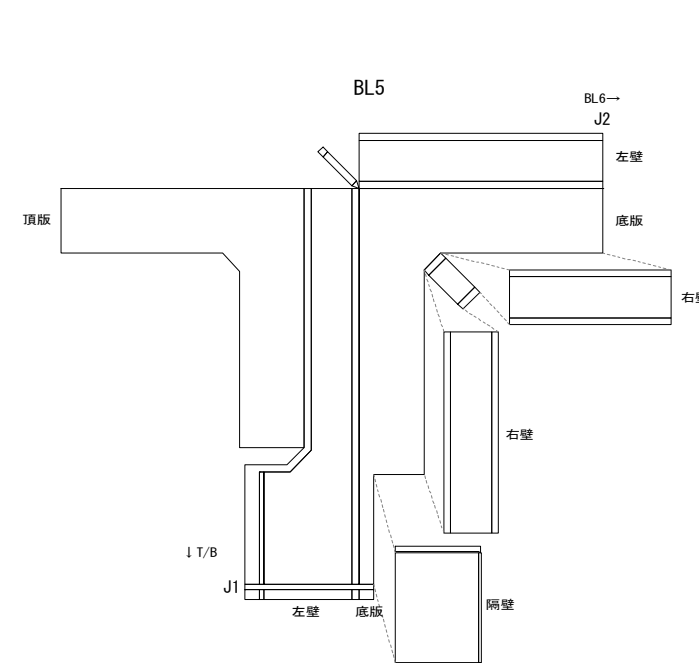


—凡例—

□ : ひび割れ ■ : 剥離・剥落

緑色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち
今回の地震以前の点検により確認されていたもの

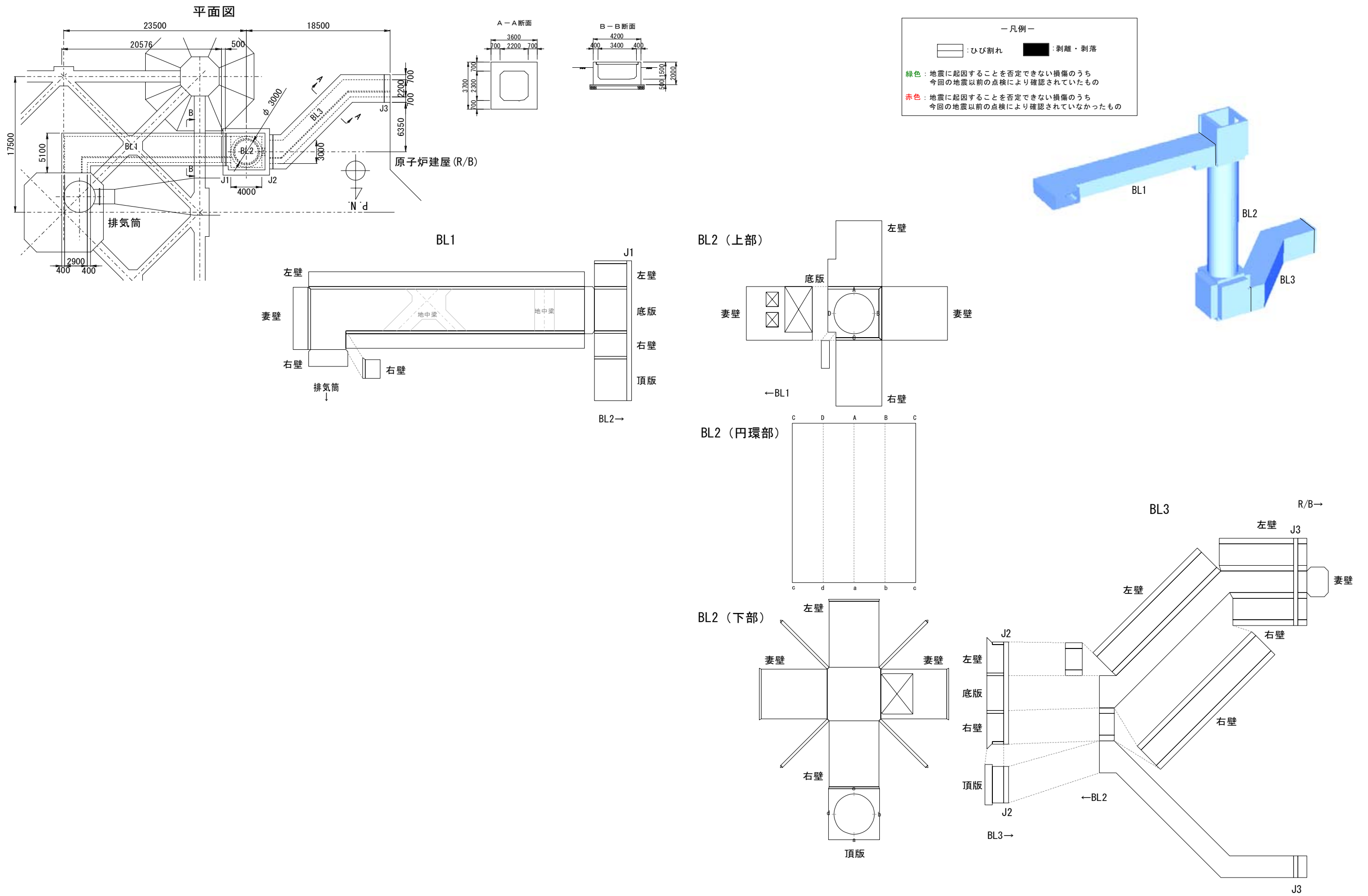
赤色 : 地震に起因することを否定できない損傷のうち
今回の地震以前の点検により確認されていなかったもの



損傷一覧表 1号機非常用ガス処理系配管ダクト

※地震に起因することを否定できない損傷は認められない。

損傷展開図 1号機非常用ガス処理系配管ダクト



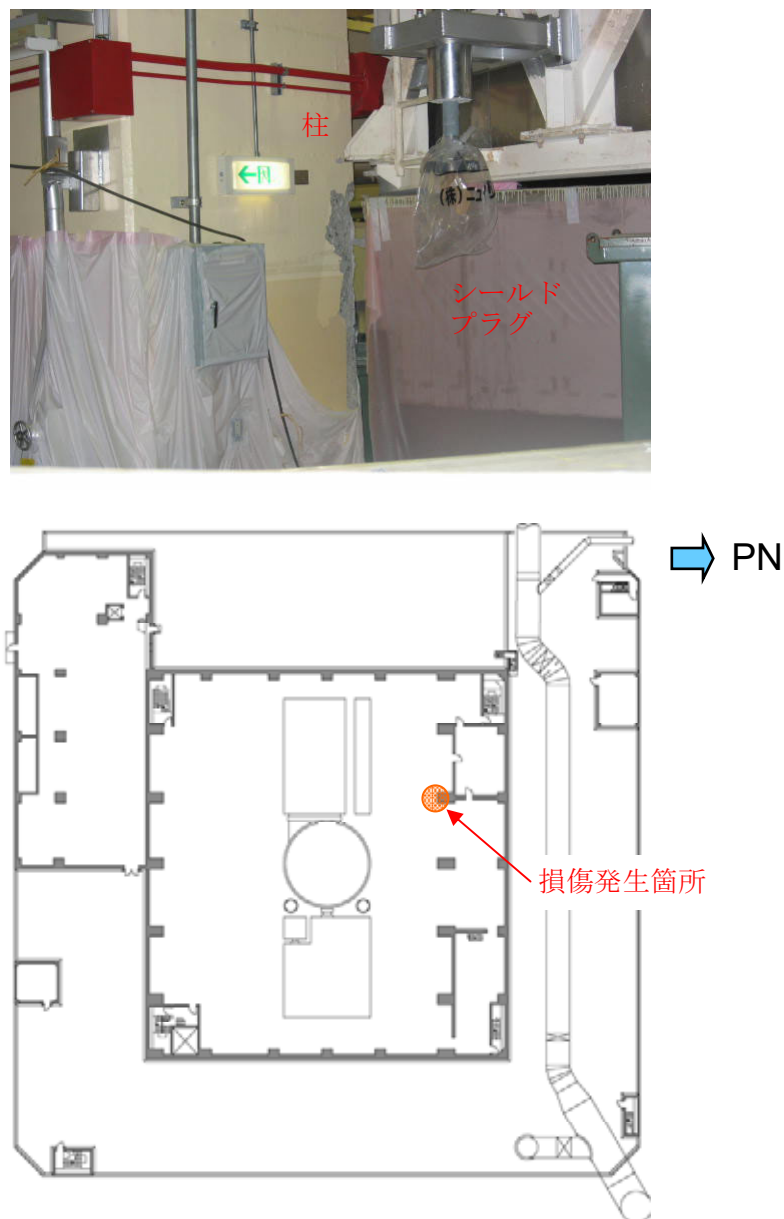
添付資料7 原子炉建屋における柱コンクリート剥落事象に関する調査結果

1. はじめに

1号機原子炉建屋3階オペレーティングフロアにおいて、定期検査中のため原子炉格納容器上部より取り外し、床面に仮置きされていたシールドプラグが、新潟県中越沖地震により移動し、建屋の柱に衝突することにより、柱のコンクリートが剥落する事象が確認された。

これを受けて、剥落箇所の調査を実施し、剥落状況の把握およびシールドプラグの衝突に対する柱の構造健全性に関する検討を行った。

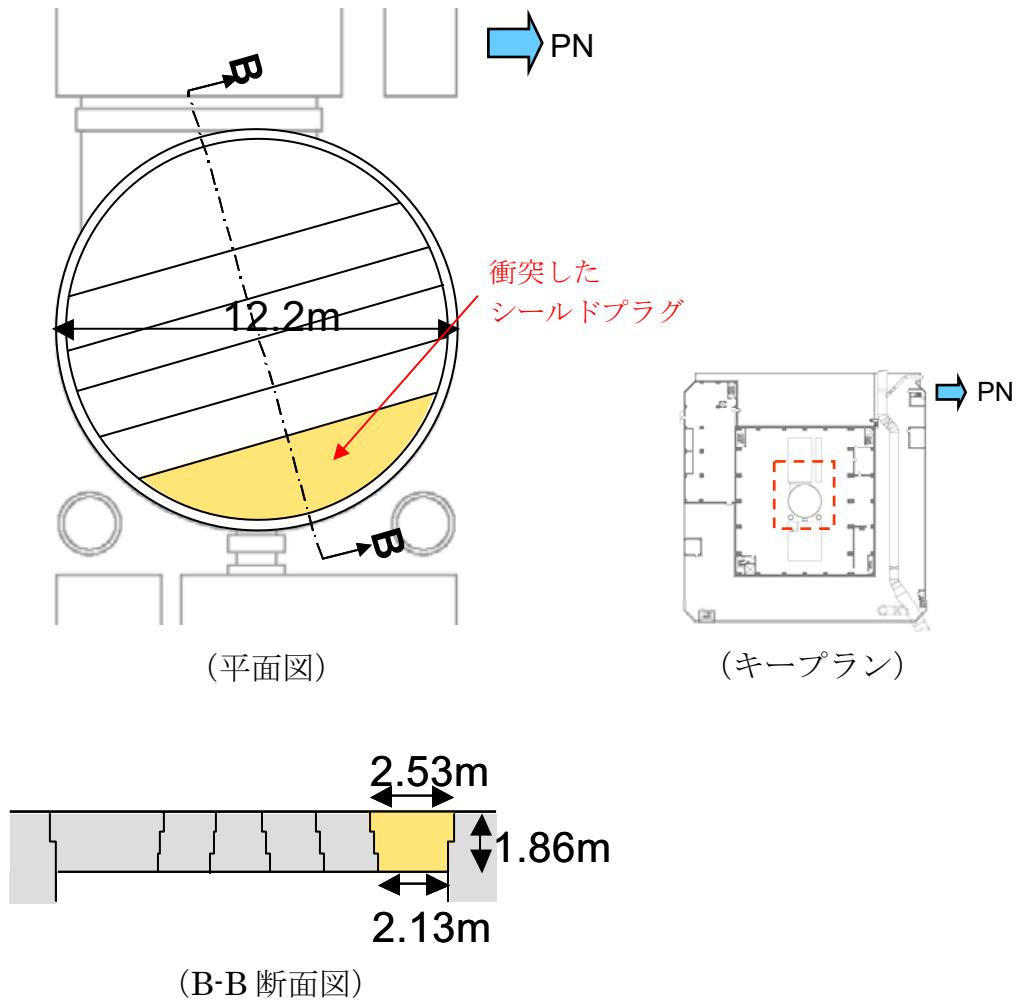
付図-7.1 に原子炉建屋3階の平面図を示す。



付図-7.1 原子炉建屋3階平面

また、シールドプラグの概要を付図-7.2に示す。シールドプラグは、原子炉格納容器の上部に設置されている円形の鉄筋コンクリート構造部材であり、直径は12.2mである。原子炉を解放する際には、6つに分割して取り外す構造となっている。

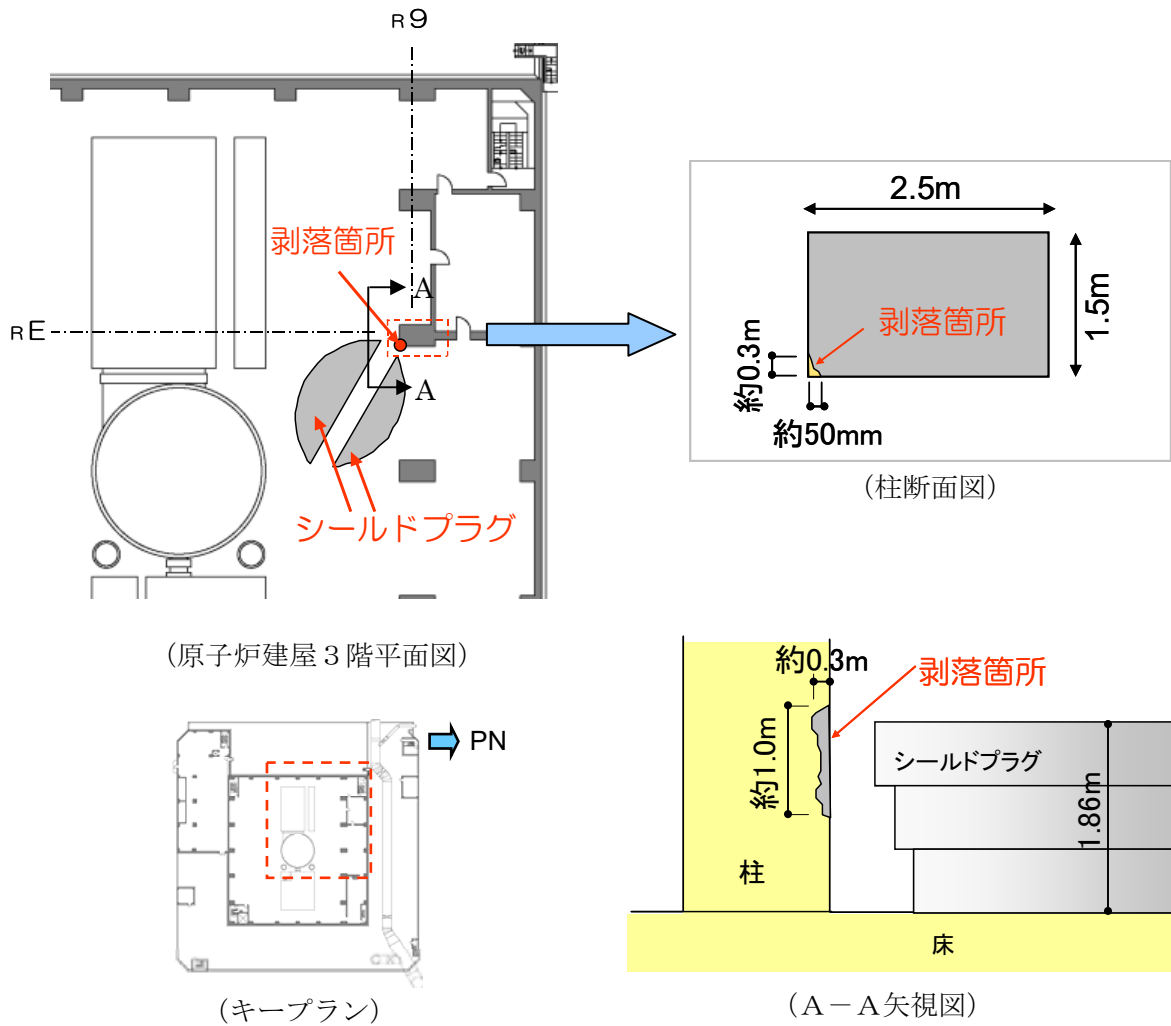
建屋の柱に衝突したシールドプラグは、運転中において、6分割のうち最も東側に設置され、半月状の形状をしている。



付図-7.2 シールドプラグ概要図

2. 損傷状況

シールドプラグの衝突による柱の損傷状況を付図-7.3 に示す。シールドプラグが柱の南東角部に衝突し、柱のコンクリートの剥落を生じた。剥落の範囲は、鉛直方向が約 1.0m、水平方向は柱角部から南面へ約 0.3m、深さは約 50mm であった。また、剥落箇所に鉄筋の露出は確認されなかったことから、鉄筋のかぶり厚さの範囲での剥落であることが確認された。

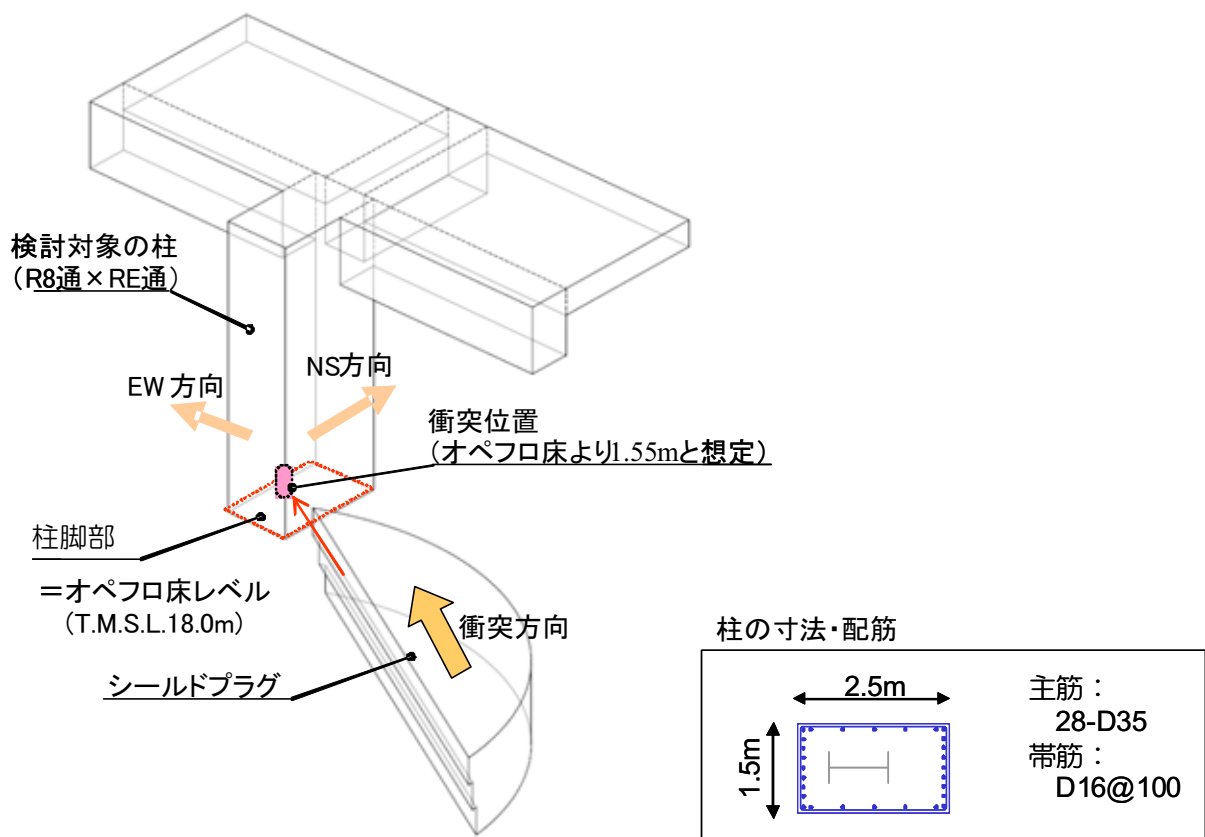


付図-7.3 柱損傷状況図

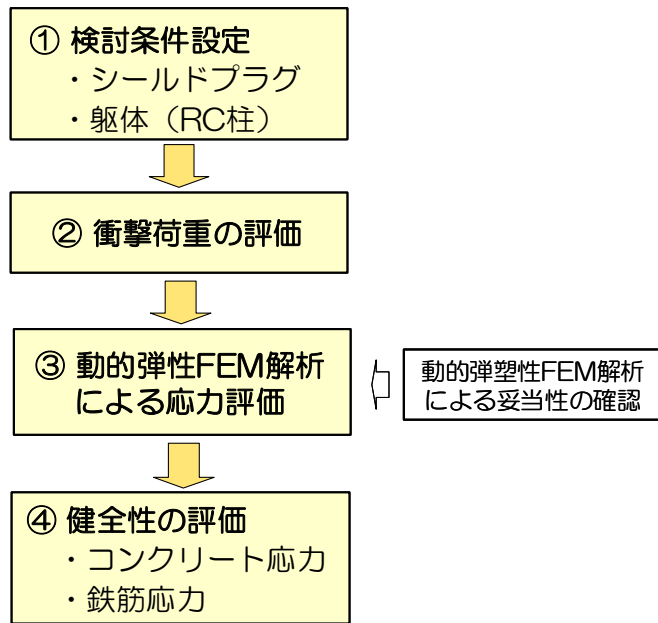
3. 柱の健全性検討

(1) 検討方針

中越沖地震時に仮置き中のシールドプラグが移動して、柱へ衝突した際の当該柱の健全性について、動的弾性 FEM 解析により検討する。なお、柱のひび割れ等を考慮した動的弾塑性 FEM 解析を用いた検討も比較のための参考として実施し、弾性解析の妥当性を確認している。衝撃荷重作用近傍の模式図を付図-7.4 に、検討手順を付図-7.5 に示す。



付図-7.4 衝撃荷重作用近傍の模式図



付図-7.5 検討手順

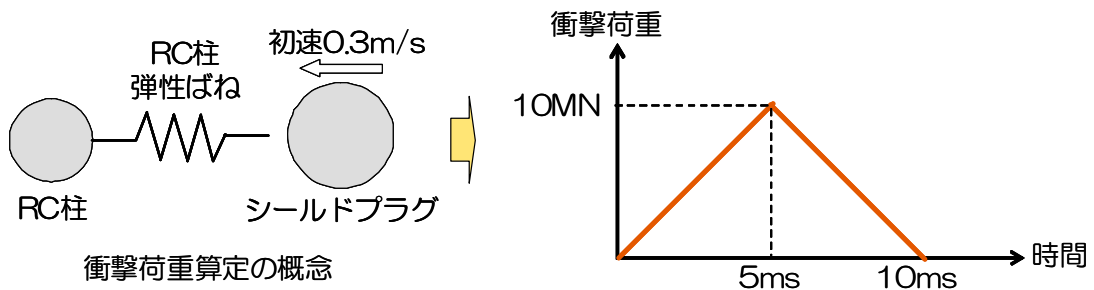
(2) 検討条件の設定および衝撃荷重の評価

① 重量および衝突速度の設定

中越沖地震時の衝突前後の状況を踏まえて、シールドプラグ（重量 722kN）が当該柱（重量 459kN）に相対速度 0.3m/s（30kine）で衝突すると仮定する。なお、地震応答解析から得られた3階オペレーティングフロアでの応答加速度時刻歴（水平2成分）を用いて、相対速度を設定した。

② 衝撃荷重の評価

衝突時は、シールドプラグの初期運動エネルギーが、柱のひずみエネルギーとシールドプラグおよび柱の運動エネルギーに保存されると仮定し、衝撃荷重を算定する。このとき、減衰によるエネルギー消費は無視する。なお、衝撃荷重の時刻歴は正弦波として与えられるが、これを力積が等価となる三角形パルスと仮定した。

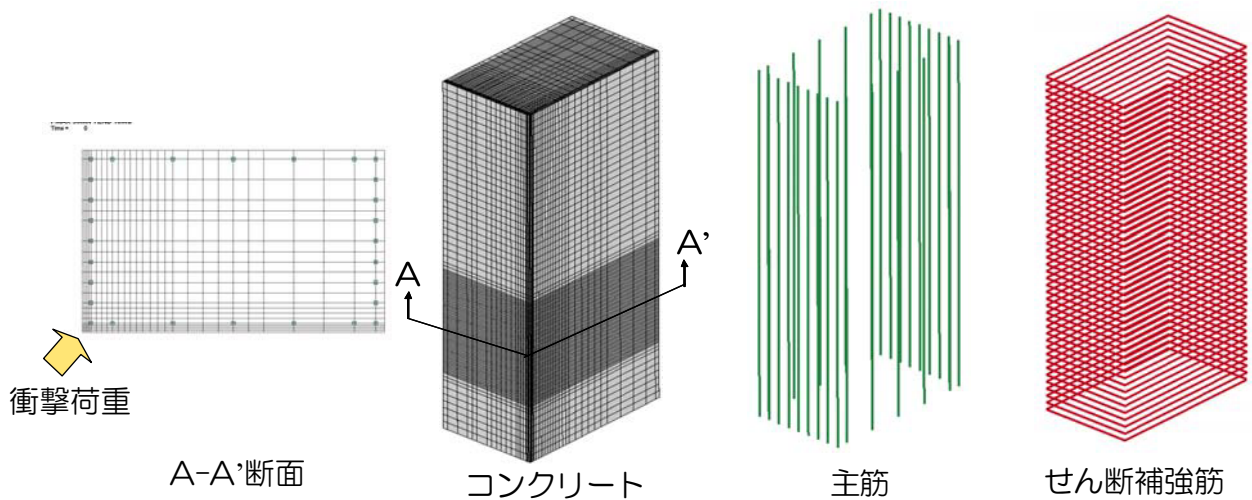


付図-7.6 衝撃荷重算定の概念

(3) 動的弾性 FEM 解析による応力評価

付図-7.7 に解析モデルを示す。コンクリートをソリッド要素で、鉄筋をばね要素でモデル化し、応力評価としては保守的となる動的弾性解析を実施する。なお、弾性解析であるためひずみ速度に応じた強度上昇効果は考慮していない。

衝撃荷重の作用方向は、鉄筋応力が最も厳しくなる斜め 45 度方向に、シールドプラグ上部の衝突面相当の領域（床上から 1.24m~1.86m にある、角一列の節点）に支配長さに応じて作用させる。なお、柱の減衰は無視し、柱両端は固定とする。

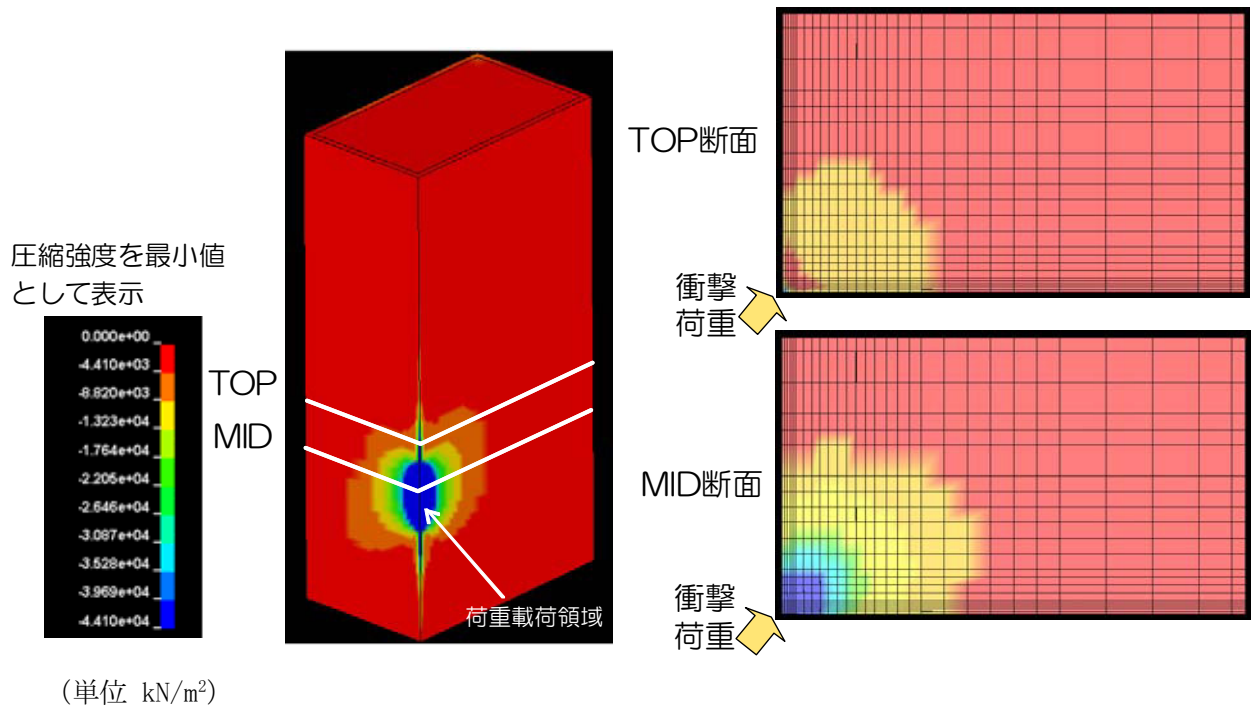


付図-7.7 解析モデル

(4) 動的弾性 FEM 解析による解析結果

a. コンクリートの主応力分布 (衝撃荷重ピーク時)

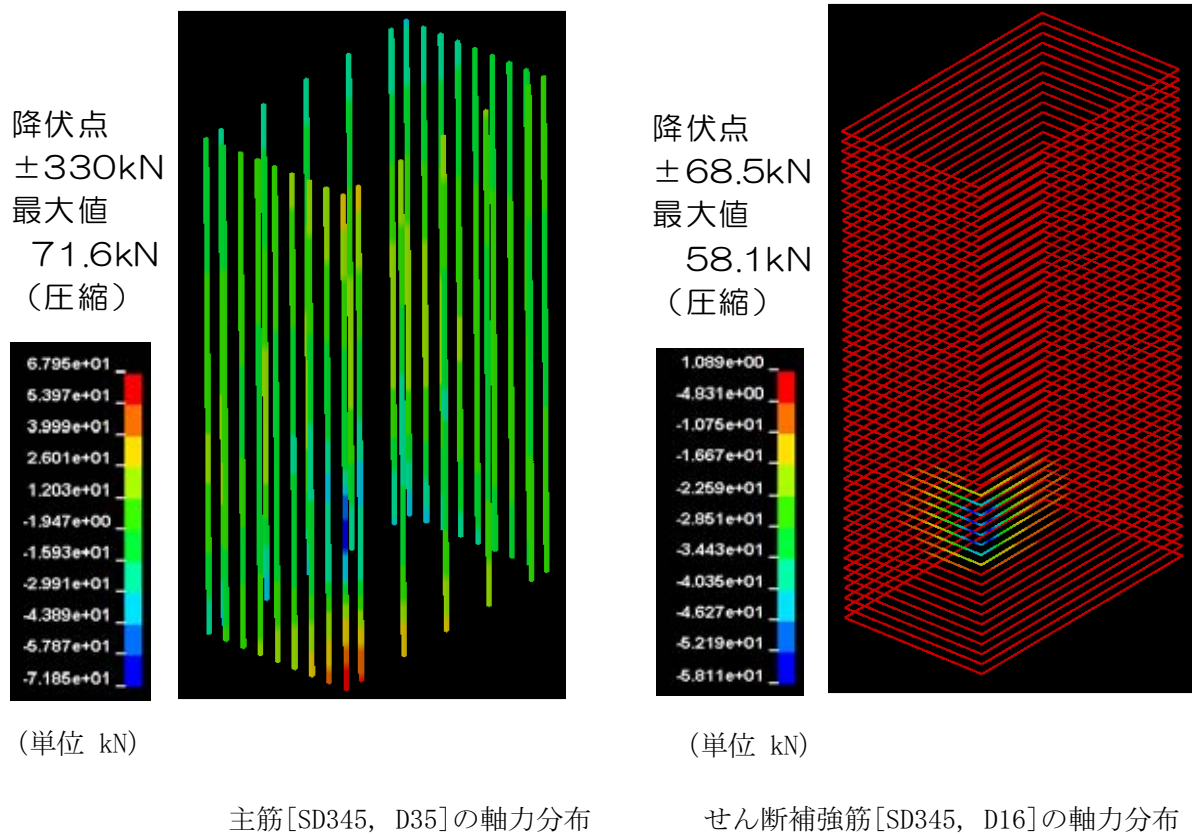
付図-7.8 に、解析によるコンクリートの主応力分布を示す。これによれば、衝突領域近傍のコンクリート圧縮主応力は圧縮強度を上回り、圧壊している可能性があるが、内部深くには達していない。また、解析から得られる損傷範囲は、実際の損傷よりも特に深さ方向で大きい。



付図-7.8 コンクリートの主応力分布

b. 最大値発生時の鉄筋応力分布（ピーク荷重近傍）

付図-7.9 に、解析による柱主筋およびせん断補強筋の軸力分布を示す。これによれば、衝突領域近傍の主筋およびせん断補強筋の応力は大きくなるものの、降伏点には達していないために、柱としての健全性に問題はないと考えられる。



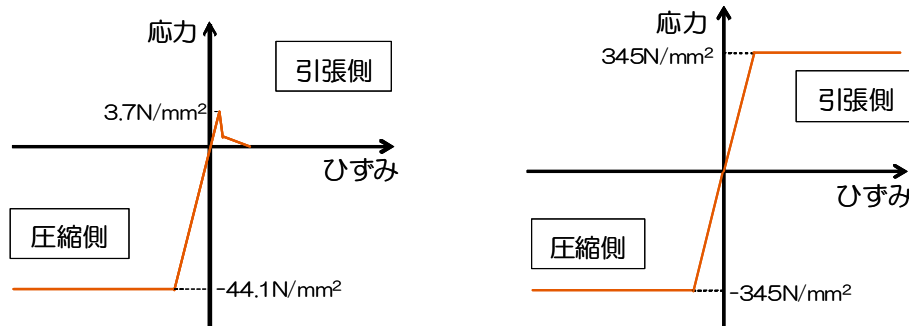
付図-7.9 鉄筋の軸力分布

(5) 動的弾塑性 FEM 解析による応力評価

弾性解析では、コンクリートのひび割れによる応力再配分を保守的に無視しているために、コンクリートの損傷範囲は実際の損傷範囲よりも大きかった。

そこで、弾性解析結果の妥当性および仮定した条件の妥当性を確認するために、衝突領域近傍のコンクリートの損傷状況をより現実的に捉えることができる、コンクリートのひび割れを考慮した弾塑性解析を、比較のための参考例として実施する。

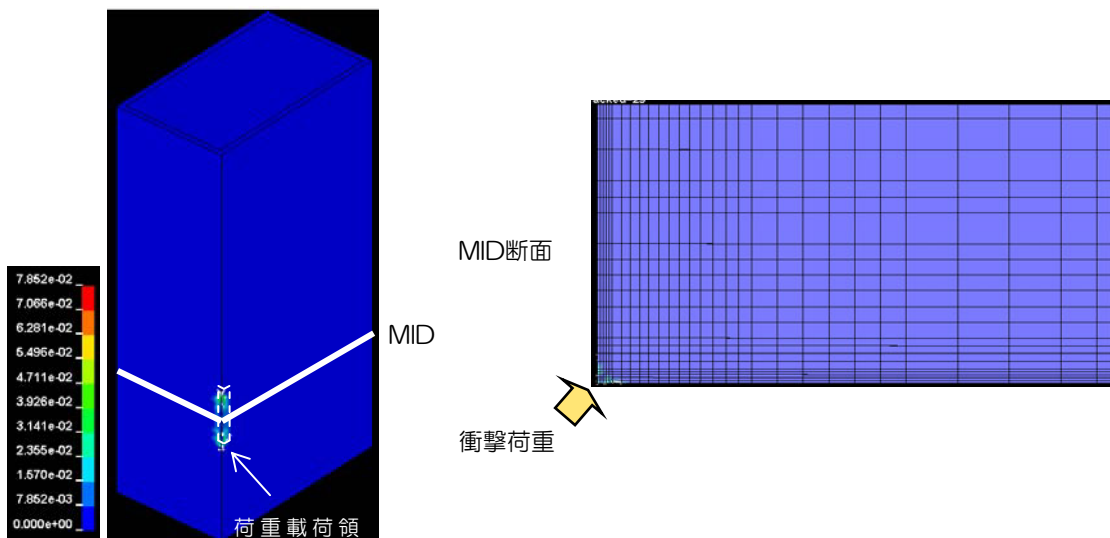
なお、付図-7.10 および付図-7.11 に示すコンクリートおよび鉄筋の弾塑性特性に加えて、ひずみ速度に応じた強度上昇を考慮している。



付図-7.10 コンクリートの応力-ひずみ関係 付図-7.11 鉄筋の応力-ひずみ関係

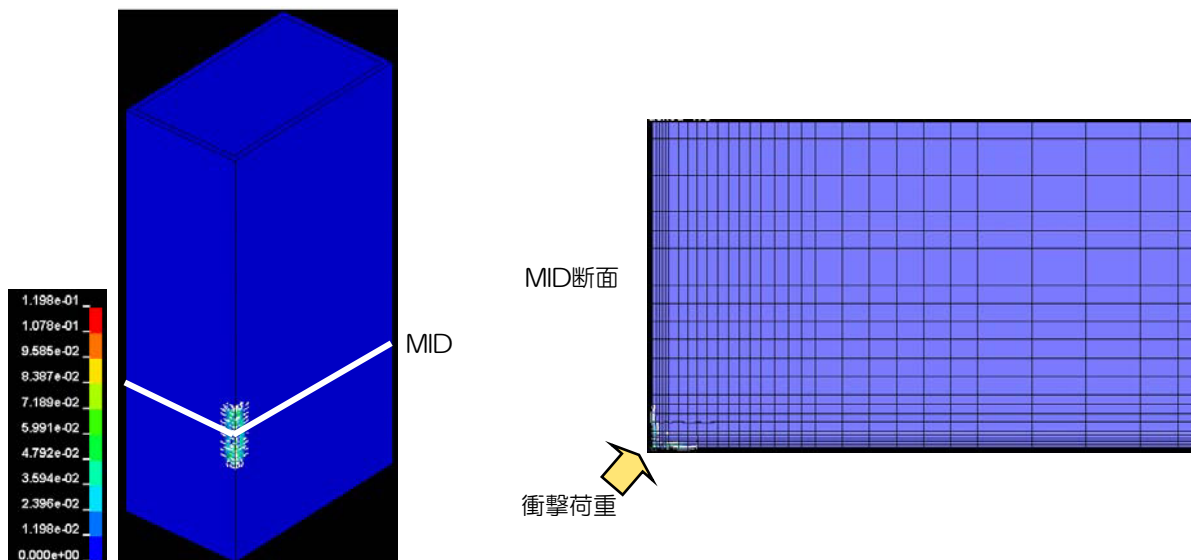
(6) 動的弾塑性 FEM 解析による解析結果

荷重ピーク時では、コンクリートのひずみおよびひび割れは衝突領域に集中し、それ以外の箇所にはコンクリートにひび割れが発生していないことが観察できる。



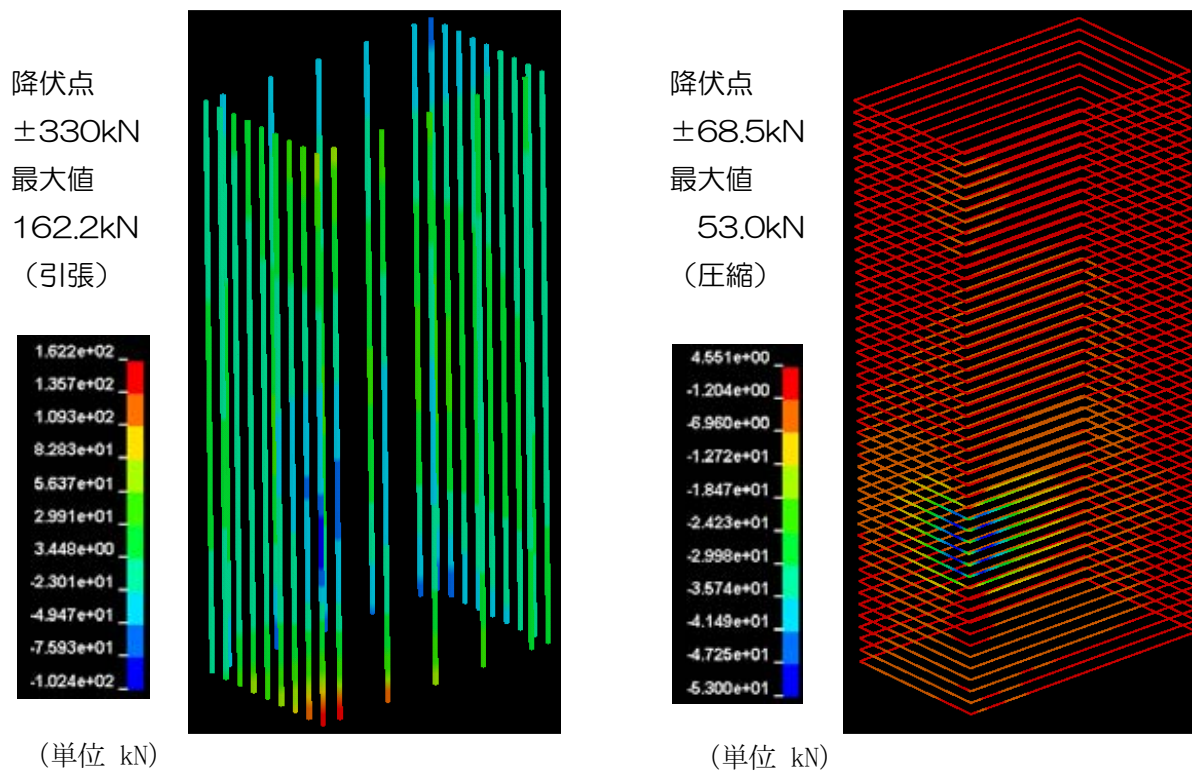
付図-7.12 コンクリートの相当塑性ひずみ分布およびひび割れ状況 [5ms, 荷重ピーク時]

衝突終了時には、コンクリートのひび割れは、かぶりコンクリートのみに残り、内部には達していない。これは実際の剥落深さにほぼ対応しているものの、解析から得られる損傷範囲は実際よりも衝突領域に集中している。これは、鉄筋応力の観点から保守的に設定した衝突方向による影響が大きいと考えられる。



付図-7.13 コンクリートの相当塑性ひずみ分布およびひび割れ状況
[10ms, 衝突終了時]

弾性解析と同様に、衝突領域近傍の主筋およびせん断補強筋の応力は大きくなるものの、降伏点には達していない。以上より、衝突領域近傍のコンクリートの損傷状況をより現実的に捉えることができる弾塑性解析と比較することで、弾性解析の妥当性が確認された。



主筋[SD345, D35]の軸力分布

せん断補強筋[SD345, D16]の軸力分布

付図-7.14 鉄筋の軸力分布

4. 柱の健全性検討のまとめ

中越沖地震時に1号機原子炉建屋3階オペレーティングフロア上に仮置き中のシールドプラグが移動して、当該階の柱へ衝突した際の柱の健全性を動的弾性解析により検討したところ、以下の結果が得られた。

衝突領域近傍のコンクリート応力は圧縮強度を上回り、圧壊している可能性があるが、柱躯体の内部深くには達していない。また、弾性解析から得られたコンクリートの損傷範囲は実際の損傷範囲よりも特に深さ方向で大きい。

さらに、衝突領域近傍の主筋およびせん断補強筋の応力は大きくなるものの、降伏点には達しておらず、柱としての健全性に問題はないと考えられる。

なお、衝突領域近傍のコンクリートの損傷状況をより現実的に捉えることが可能な、コンクリートのひび割れを考慮した弾塑性解析も併せて実施し、上記に示された保守的な衝撃荷重条件に基づく弾性FEM解析結果の妥当性を確認した。

5. 健全性評価結果

当該柱の剥落箇所は、鉄筋の露出がないことから、柱のかぶりコンクリートの範囲での剥落であったと判断できる。また、シールドプラグが当該柱へ衝突した際の柱の健全性を動的弾性・弾塑性FEM解析を用いて検討したところ、当該柱の健全性に問題ないと考えられる。

なお、柱に生じた剥落部分については、樹脂モルタルにて欠損断面の復旧を行うこととする。

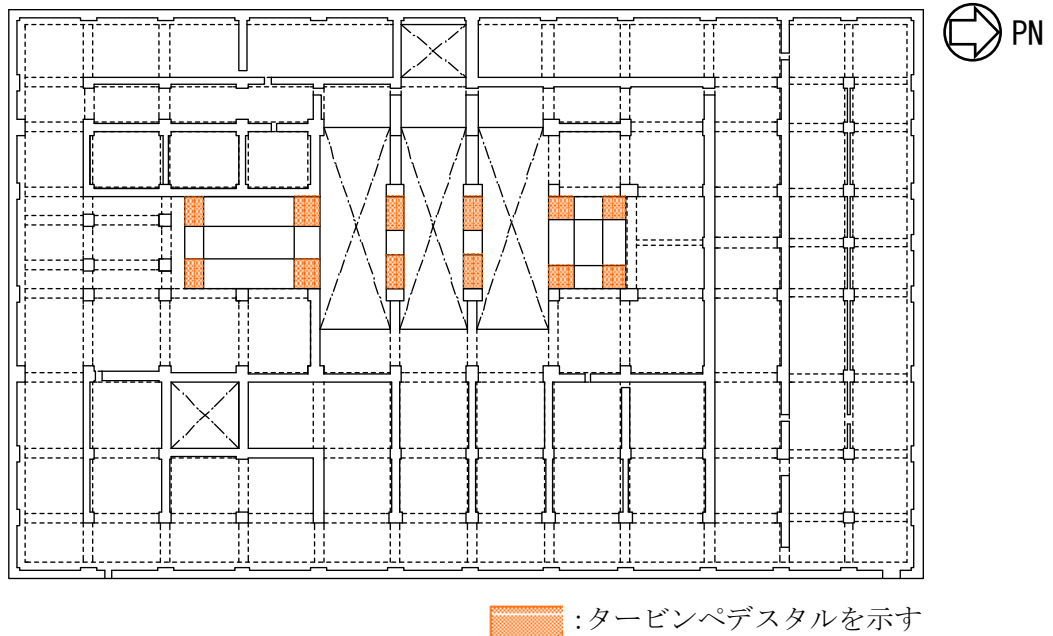
添付資料 8 タービン建屋におけるタービンペデスタル周辺コンクリート剥落事象に関する調査結果

1. はじめに

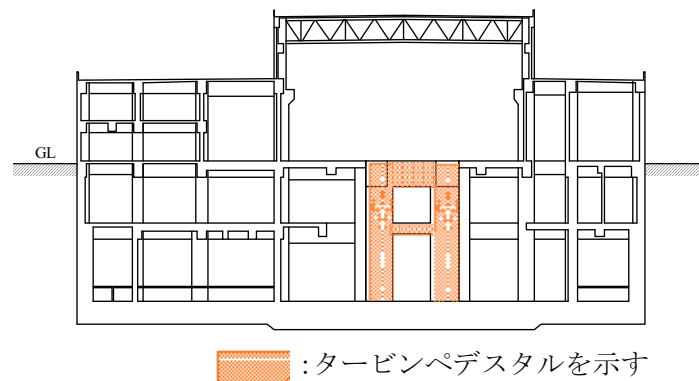
1号機タービン建屋において、タービン建屋とタービンペデスタル（タービン発電機の基礎）間の取り合い部において、タービン建屋側のコンクリートの剥落が確認された。

これを受けて、剥落箇所の調査を実施し、剥落状況の把握、剥落原因の推定及び補修方法の検討を行った。

付図-8.1 にタービン建屋におけるタービンペデスタルの位置を示す。



付図-8.1(1) 1号機タービン建屋地下1階平面図



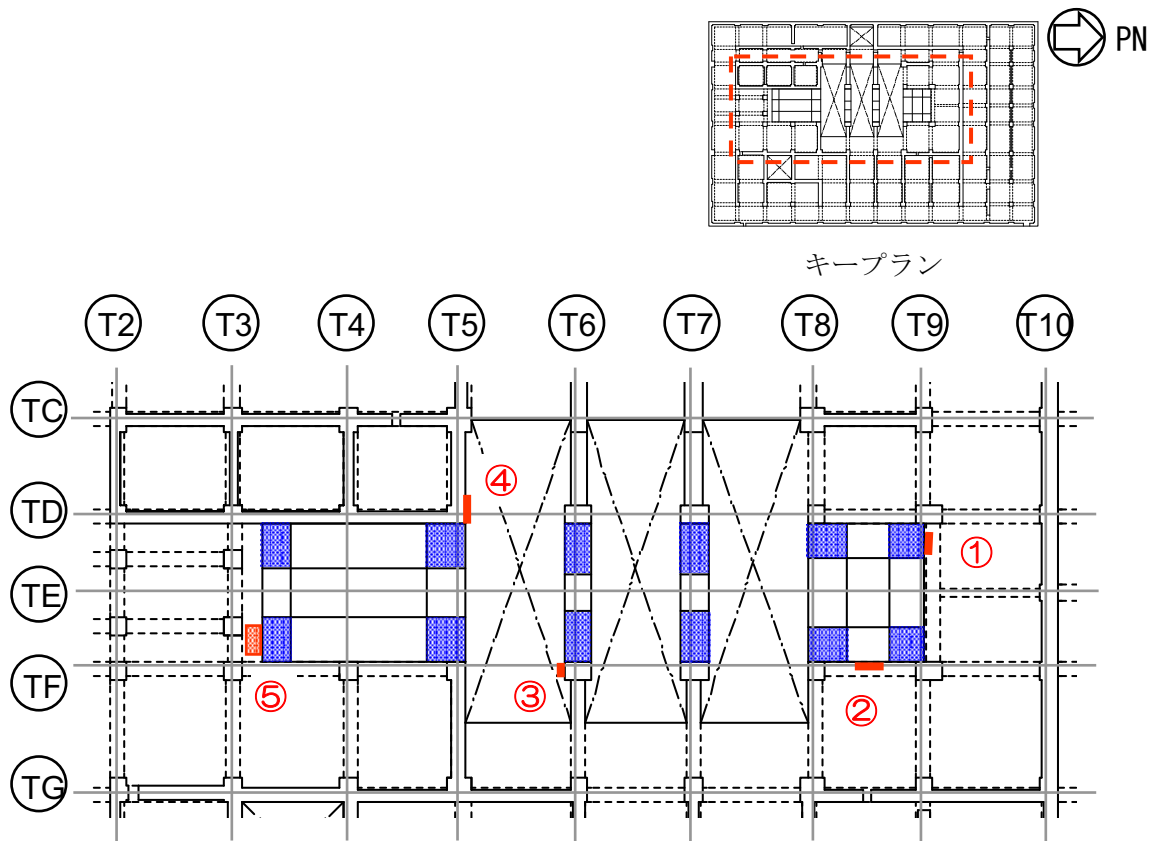
付図-8.1(2) 1号機タービン建屋断面図（東西方向）

2. 調査結果

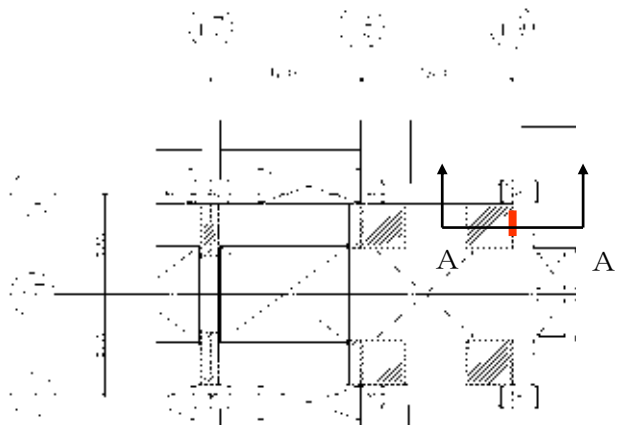
調査によって把握した、タービン建屋躯体コンクリートの剥落箇所の一覧を付表-8.1 に、剥落箇所を付図-8.2 に示す。また、各剥落箇所の調査結果を付図-8.3～付図-8.8 に示す。

付表-8.1 タービン建屋躯体コンクリート剥落箇所一覧

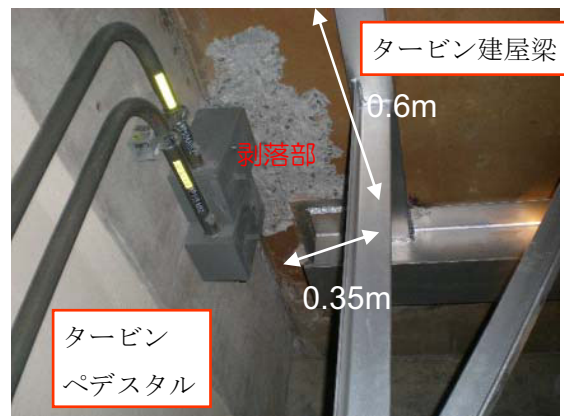
No.	階	位置	発生部位	剥落の大きさ 幅(m)×長さ(m)×深さ(mm)
①	B1F	T9-TD~E	梁底	0.35 × 0.6 × 40
②	B1F	T8~9-TF	梁底	0.1 × 0.2 × 30
③	B1F	T6-TF	柱	0.08 × 0.35 × 30
④-1	B1F	T5-TD	柱	0.2 × 0.3 × 20
④-2	B1F	T5-TD	柱	0.35 × 0.6 × 30
④-3	B1F	T5-TD	柱	0.35 × 1.0 × 30
④-4	B1F	T5-TD	柱	1.0 × 1.7 × 198
⑤-1	B1F	T3~4-TE~F	スラブ底	0.6 × 1.5 × 30
⑤-2	B1F	T3~4-TE~F	スラブ底	0.6 × 1.5 × 30
⑤-3	B1F	T3~4-TE~F	スラブ底	0.6 × 0.6 × 30



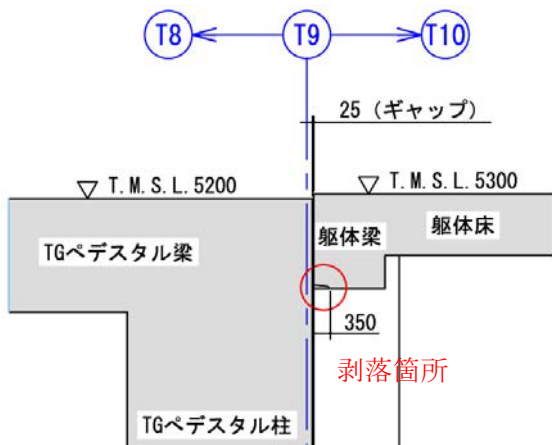
付図-8.2 タービン建屋躯体剥落箇所図



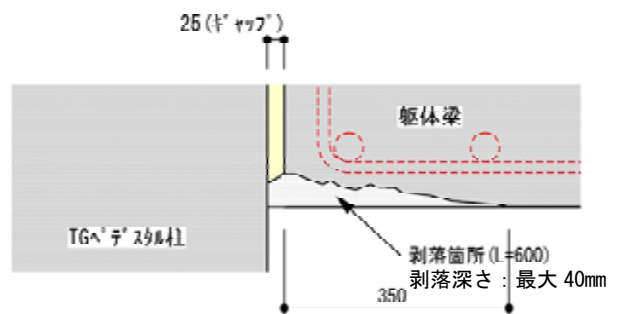
(1)剥落箇所 No.①周辺平面図



(2)剥落状況写真

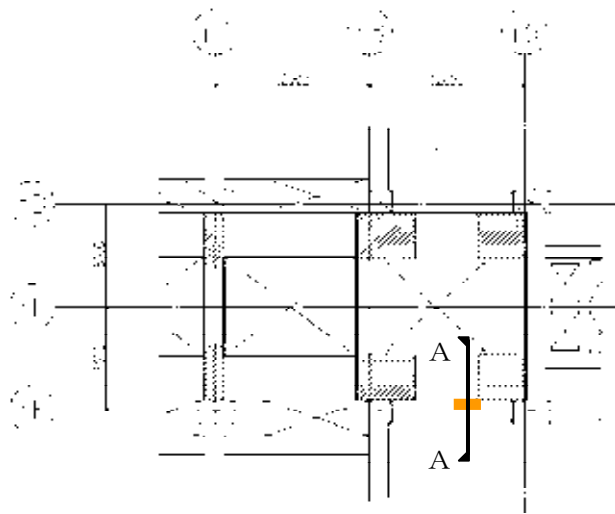


(3)A-A 断面図



(4)剥落部拡大図

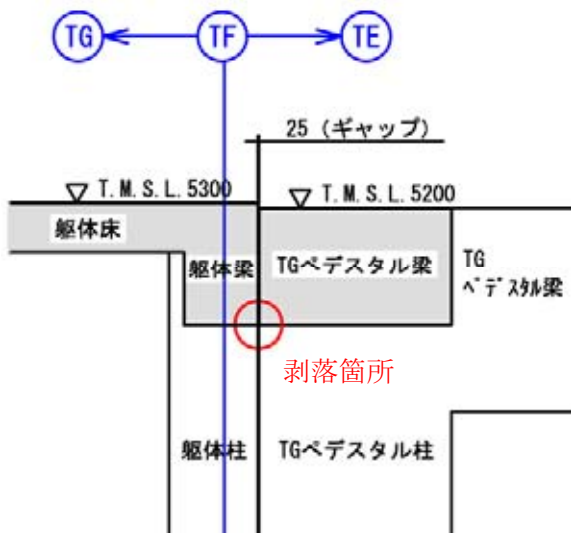
付図-8.3 剥落箇所 No.①調査結果



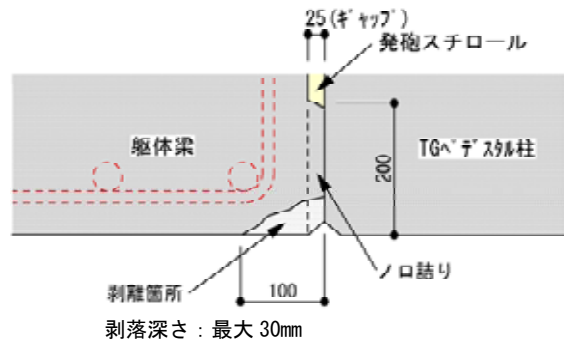
(1)剥落箇所 No.②周辺平面図



(2)剥落状況写真

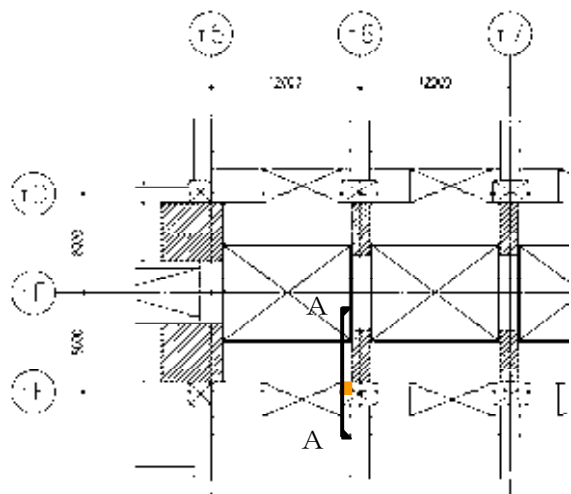


(3)A-A 断面図



(4)剥落部拡大図

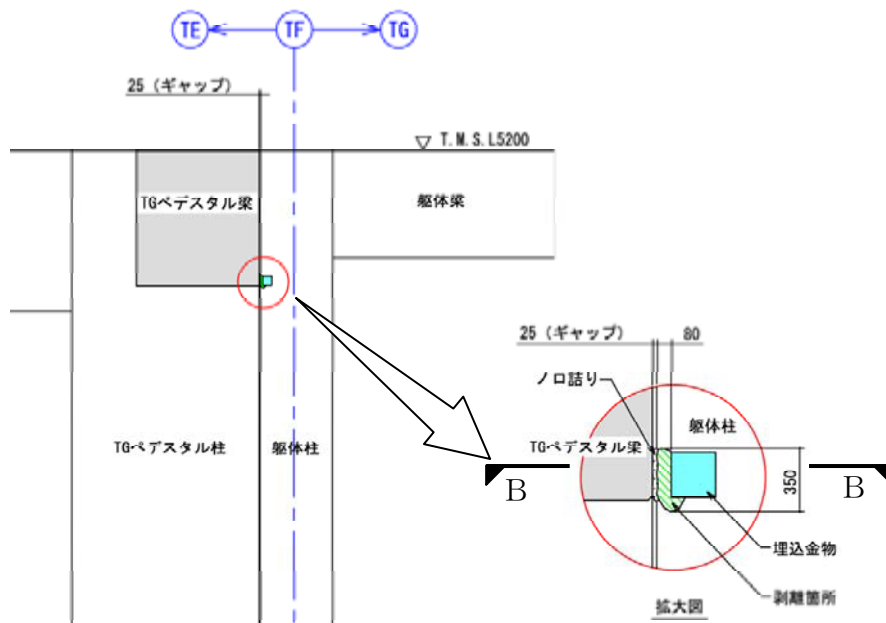
付図-8.4 剥落箇所 No.②調査結果



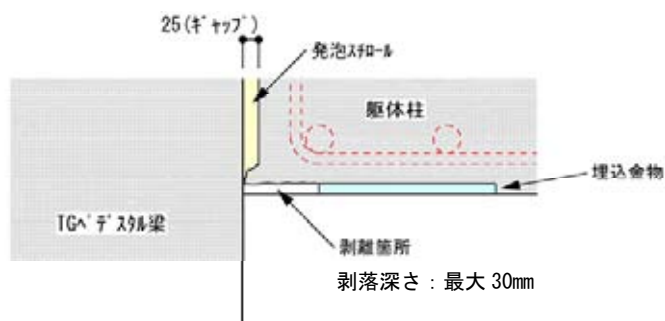
(1)剥落箇所 No.③周辺平面図



(2)剥落状況写真

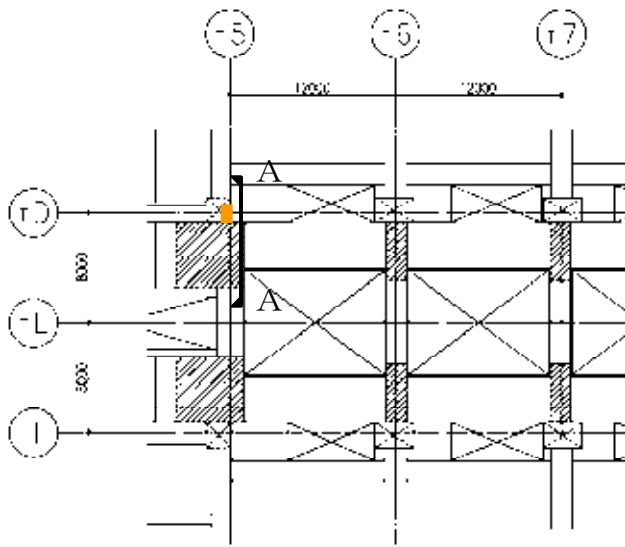


(3)A-A 断面図



(4)B-B 断面図

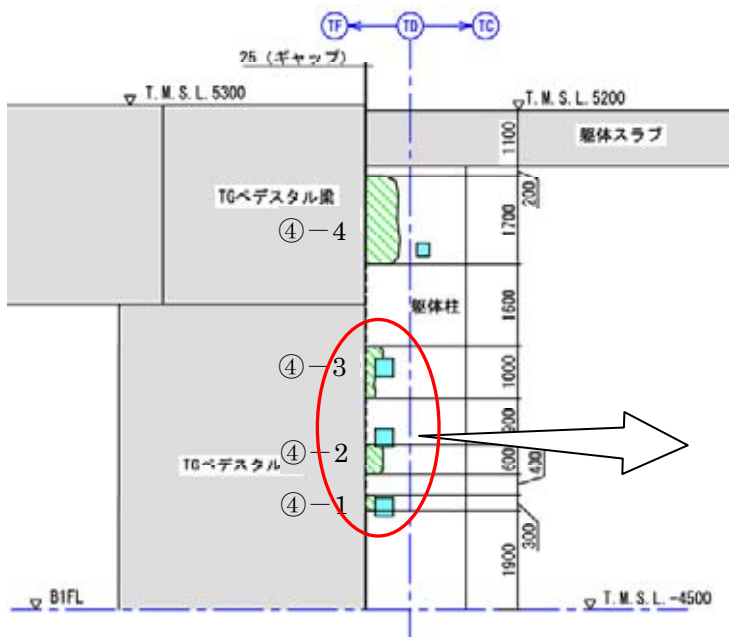
付図-8.5 剥落箇所 No.③調査結果



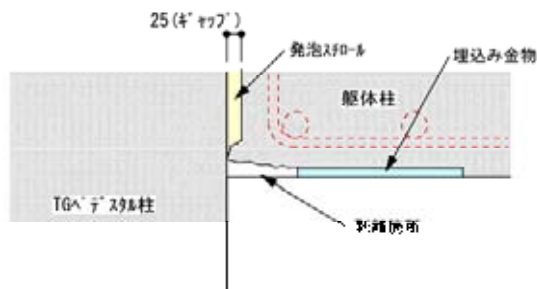
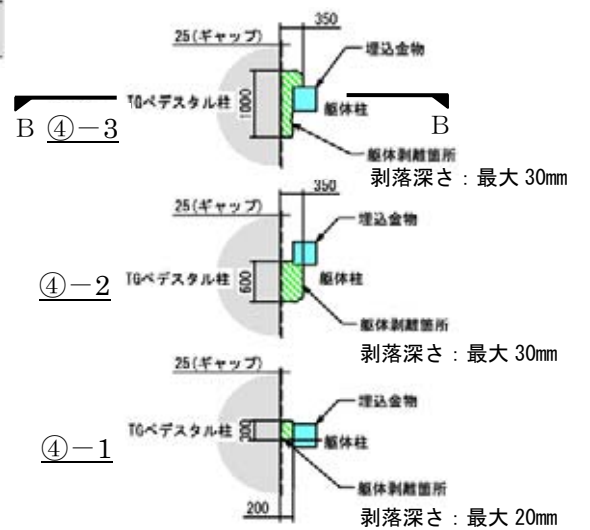
(1)剥落箇所 No.④周辺平面図



(2)剥落状況写真(No.④-3)

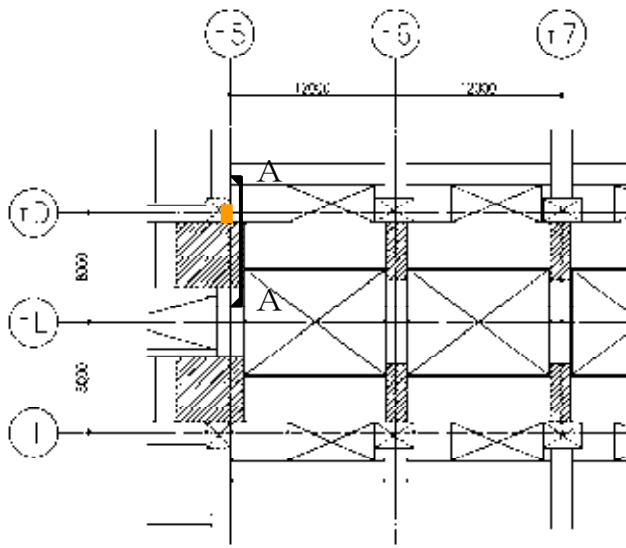


(3)A-A 断面図



(4)B-B 断面図

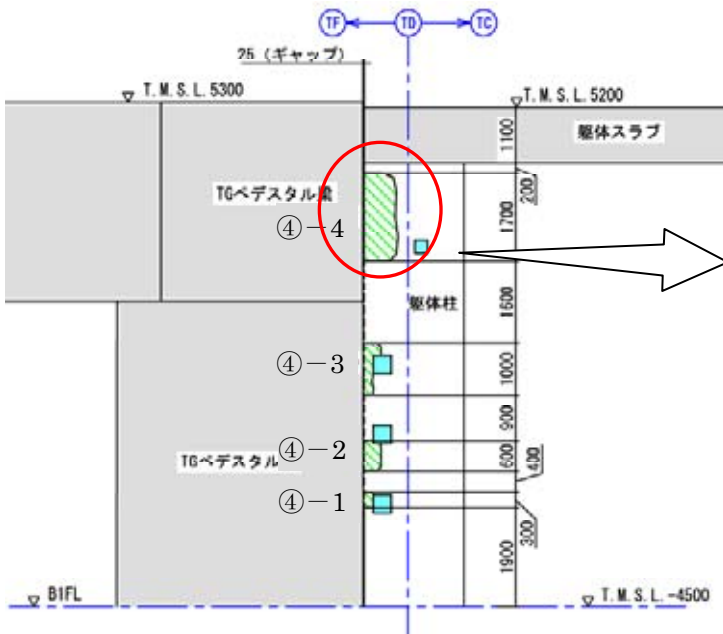
付図-8.6 剥落箇所 No.④-1~3 調査結果



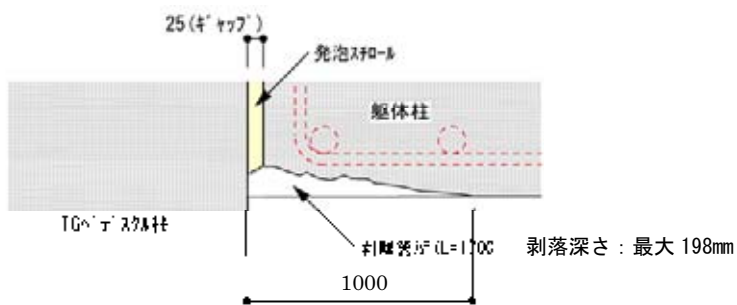
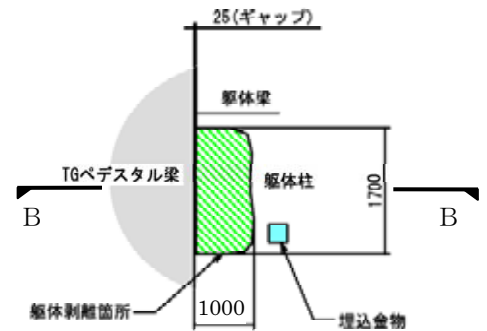
(1)剥落箇所 No.④周辺平面図



(2)剥落状況写真(No.④-4)

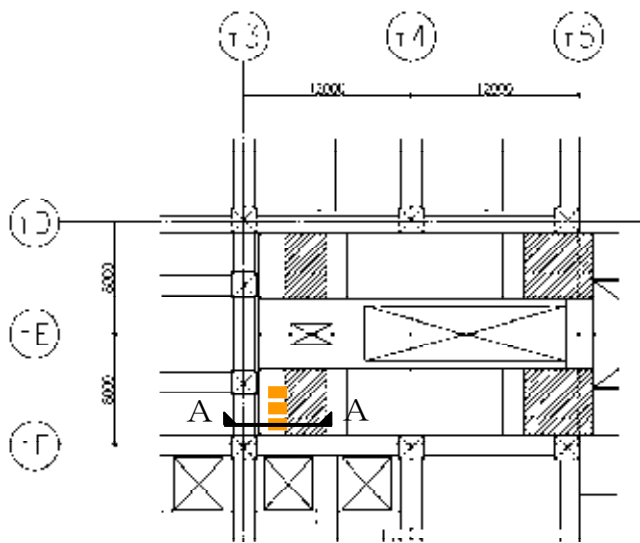


(3)A-A 断面図

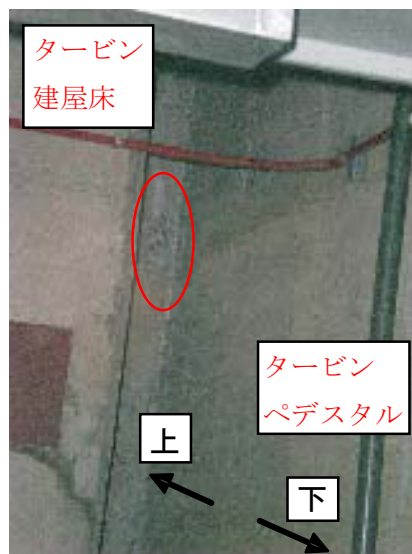


(4)B-B 断面図

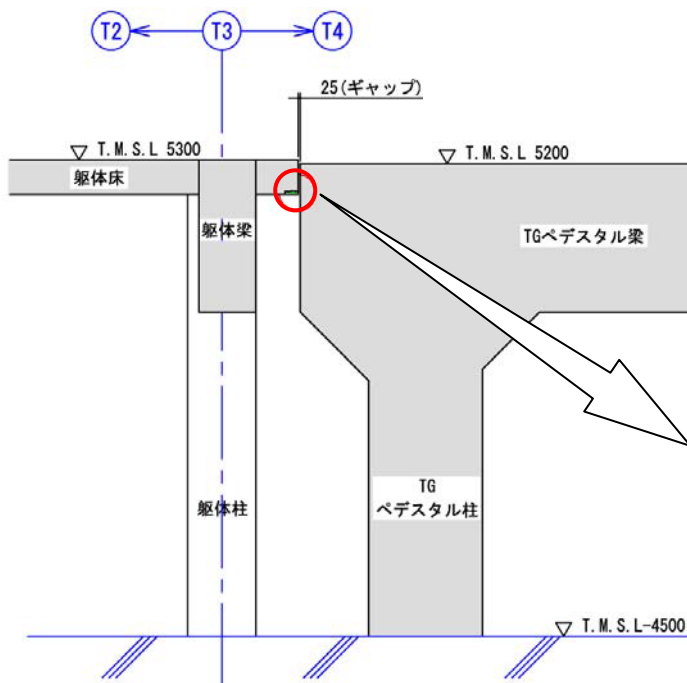
付図-8.7 剥落箇所 No.④-4 調査結果



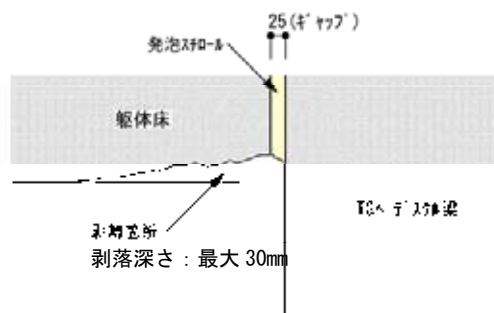
(1)剥落箇所 No.⑤周辺平面図



(2)剥落状況写真



(3)A-A 断面図



(4)剥落部拡大図

付図-8.8 剥落箇所 No.⑤-1~3 調査結果

3. 剥落原因の推定

(1) タービン建屋とタービンペデスタル間のギャップについて

タービン建屋とタービンペデスタルの間には、25mmのギャップを確保する設計となっているが、躯体コンクリートの剥落が確認された箇所の周辺を調査したところ、25mmのギャップが部分的に無く、タービン建屋とタービンペデスタルの躯体が接触している箇所が確認された。

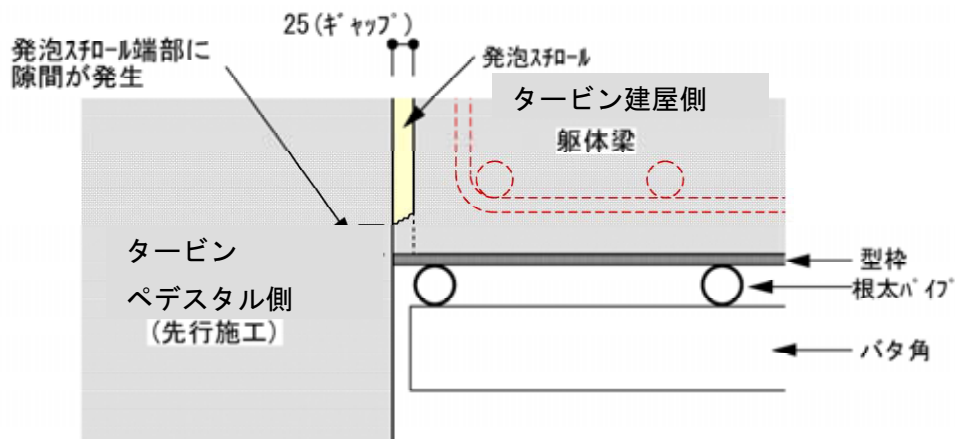
(2) ギャップが埋まった原因について

タービン建屋とタービンペデスタル間のギャップ部の施工は、タービンペデスタル側の躯体を先行して施工し、ギャップ部に発泡スチロールを貼り付けた後、タービン建屋側の型枠工事、配筋工事、コンクリートの打設が行われる。

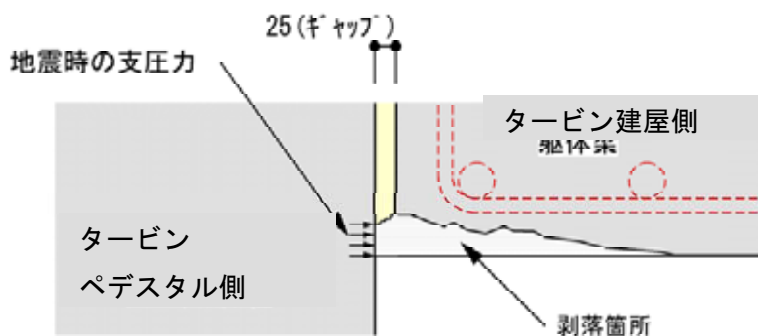
この間に、発泡スチロールが何らかの要因で損傷し、その部分にコンクリートのノロが回り込んで、部分的にギャップが埋まった可能性が考えられる。(付図-8.9)

(3) コンクリートの剥落が生じた原因について

部分的にギャップが埋まった箇所では、地震時に支圧力が作用し、躯体表面のコンクリートが剥落したものと考えられる。(付図-8.10)



付図-8.9 コンクリート打設時の状況



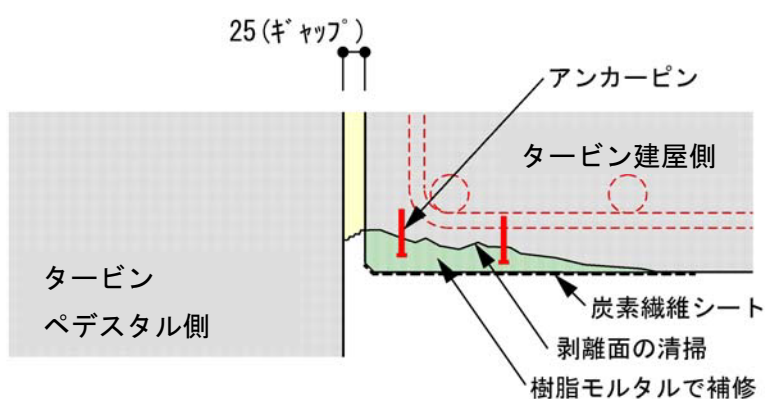
付図-8.10 地震時の剥落状況

4. 補修方法

剥落部分の大きさは、最大でもコンクリートのかぶり厚さ程度であることから、樹脂モルタルによる欠損断面の復旧を行う。補修方法の概要を付図-8.11に示す。

なお、躯体との一体性を確実にするため、剥落厚さが比較的大きい場合については、アンカーピンを設置するほか、鉄筋の表面が露出している箇所については、樹脂モルタル施工後に炭素繊維シートを貼り付けるものとする。

また、剥落を生じていないが、タービン建屋とタービンペデスタル間のギャップ部分がふさがっている部分については、念のため撤去し、所定のギャップを確保することとする。



付図-8.11 剥落部の補修概要

5. 健全性評価結果

タービン建屋における各剥落箇所は、地震により発生したものであるが、施工時に部分的に所定のギャップが確保されていなかったことが直接の原因であると考えられる。

剥落箇所は局部的であり、コンクリートのかぶり程度の範囲で生じていることから、建屋の耐震性能への影響は小さいものと評価するが、剥落部分については、欠損断面の復旧を行い、健全性を確保するものとする。

添付資料9 タービン建屋オペレーティングフロア上部大梁のコンクリート片落下に関する調査結果及び対策について

1. はじめに

平成21年1月14日に、柏崎刈羽原子力発電所1号機タービン建屋1階オペレーティングフロア（以下、オペフロという）でコンクリート片（大きさ：20cm×20cm×厚3cm、付図-9.1）の落下物が確認された。コンクリート片の発見場所を付図-9.2に示す。

これを受け、現況の調査、断面欠損が躯体強度に与える影響、補修方法について、とりまとめた。

2. 経緯

1月14日 1号機タービン建屋ランウェイガード頂部脇からコンクリート片が落下

1月15日～16日 当該部の目視確認および打診調査を実施

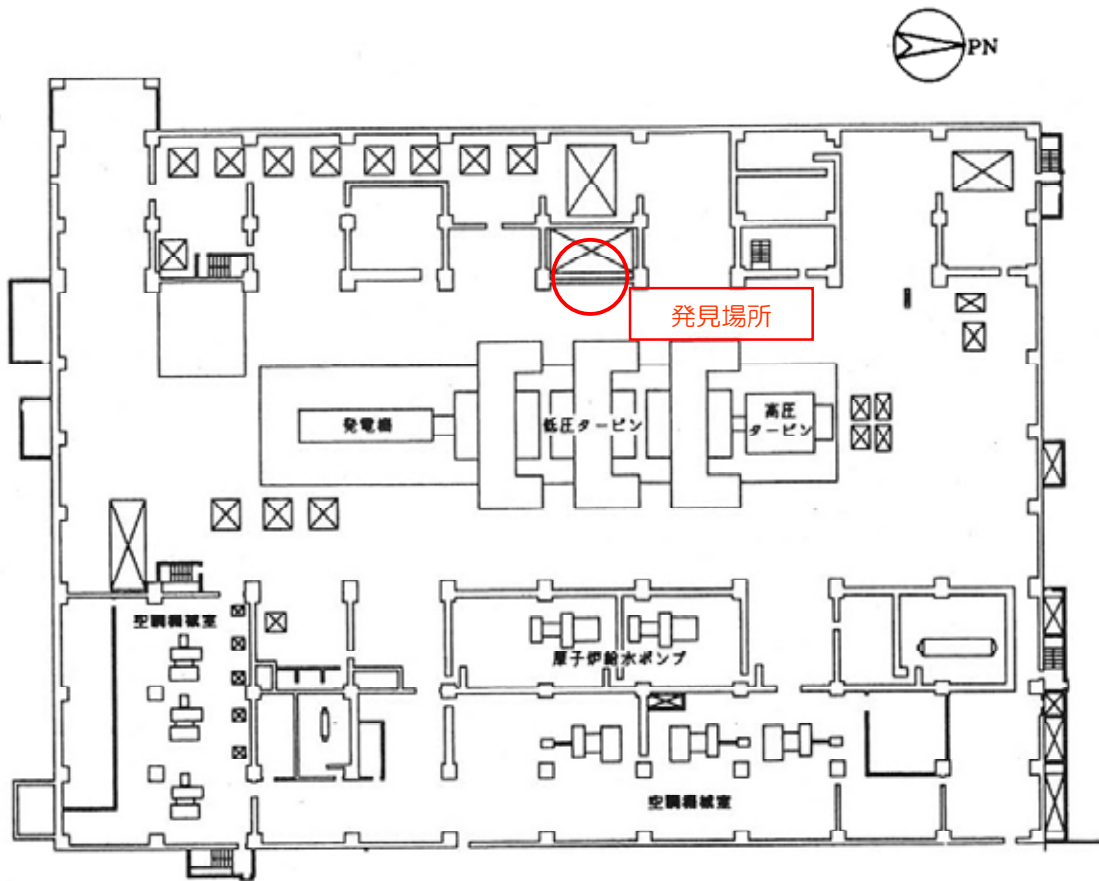
1月20日～23日 応急処置として、当該エリアのはつり作業を実施

2月7日 保安院による立入検査

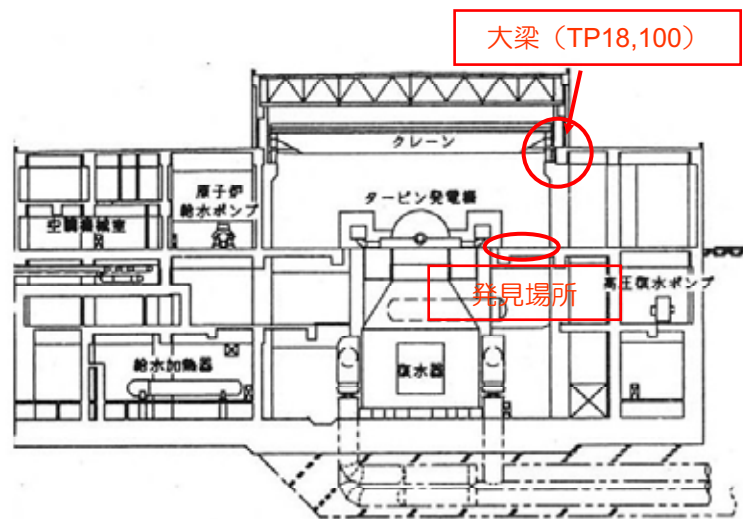
2月11日～14日 現地躯体調査を実施



付図-9.1 落下したコンクリート片

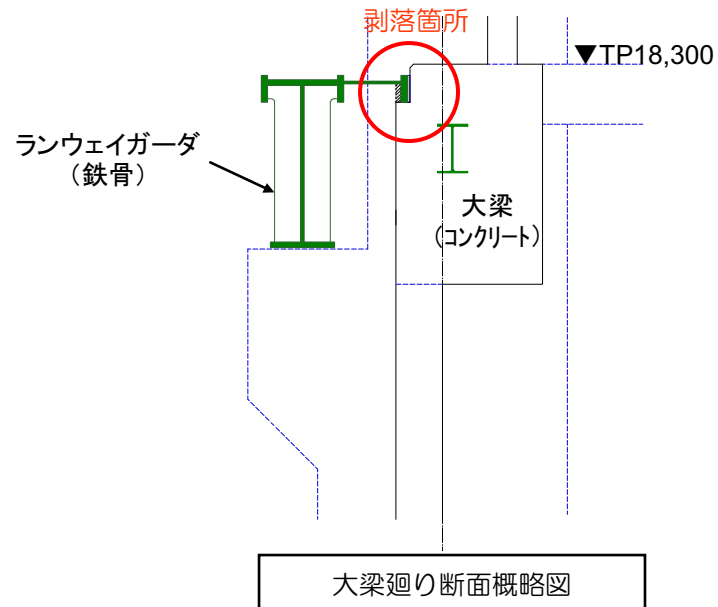


(平面図)



(断面図)

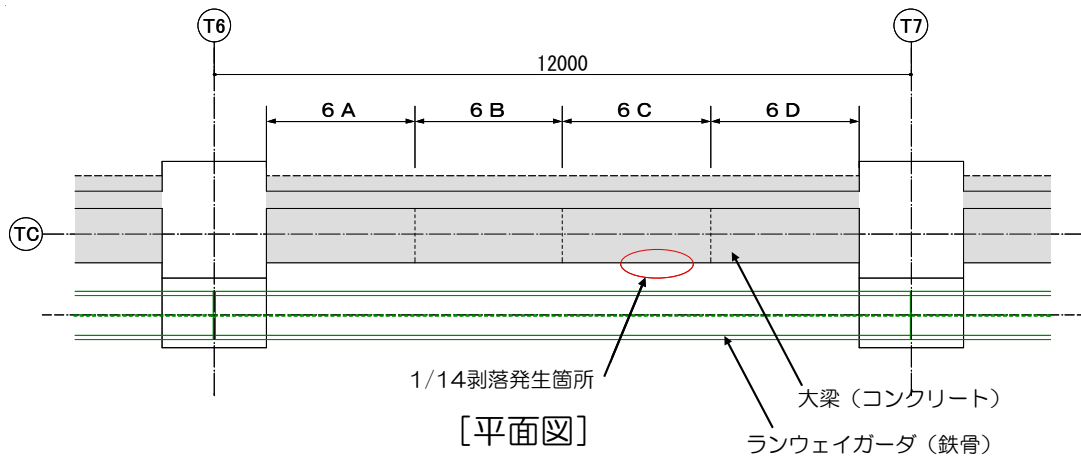
付図-9.2 1号機タービン建屋におけるコンクリート片の発見場所



付図-9.3 コンクリート片の発見場所の周辺状況

3. 目視確認及び打診調査

当該大梁 (T6～T7 通り) の頂部および側面のうち、付図-9.4 に示す 6A～6D の 4 箇所について、目視確認および打診調査を実施した。



付図-9.4 目視確認及び打診調査の位置

調査結果概要

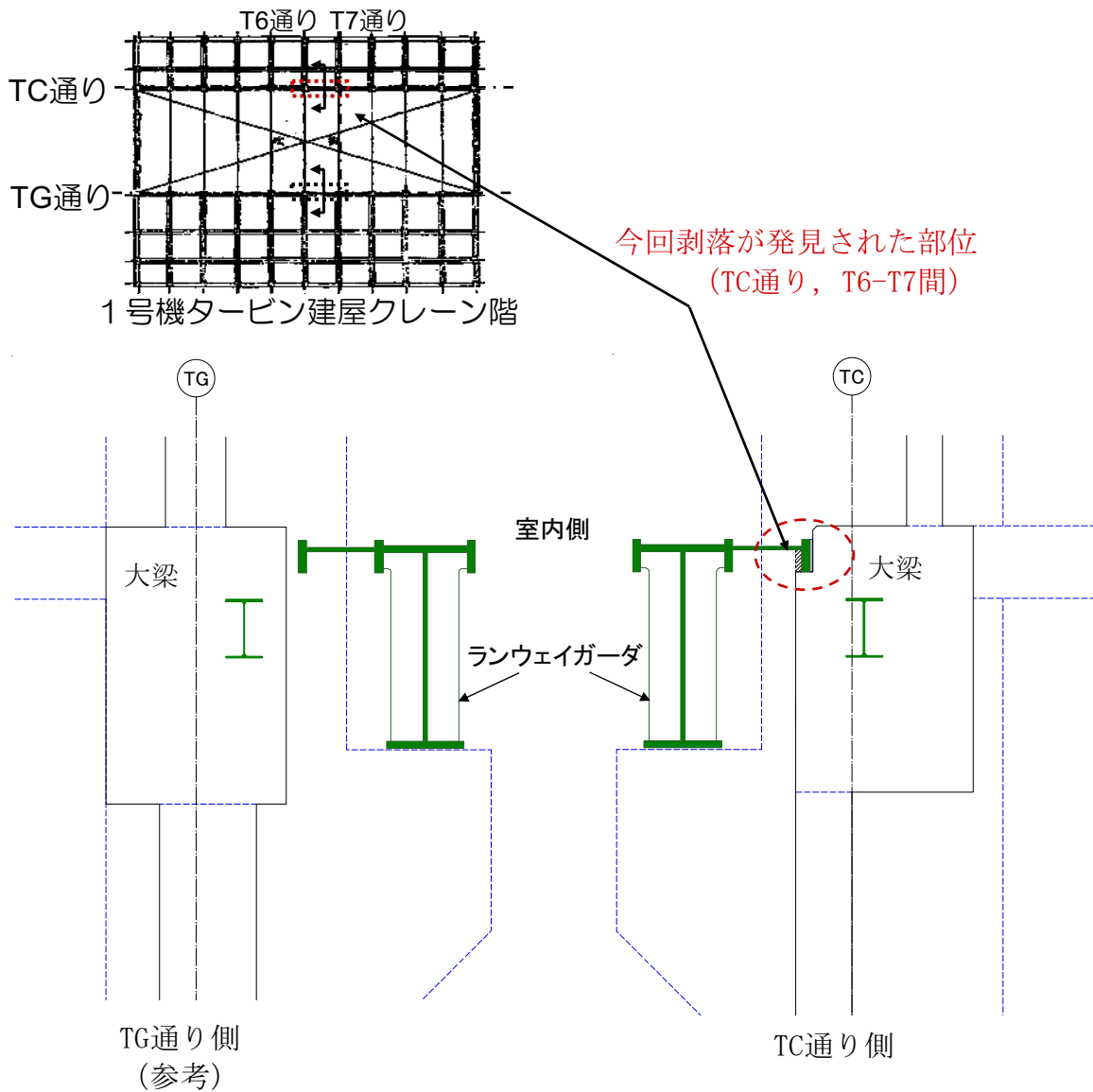
- 6 A : 鉄骨部とコンクリート部の境界 (上フランジの鉄骨から約 200 mm 下がり) に沿ってひび割れあり
- 6 B : 既にコンクリートの剥落を確認 (剥落時期は不明)
- 6 C : コンクリートにひび割れ、浮きあり
- 6 D : コンクリートにひび割れあり

目視確認および打診調査の結果を受け、安全確保のための応急処置として、T6～T7 間について剥落部と同様の箇所のはつり作業を実施した。

4. 当該部の構造について

コンクリート片の剥落が発見された箇所(TC 通り)の構造を示す。

1号機タービン建屋の TG 通り及び柏崎他号機及び他サイトの同様の箇所を調査した結果、ランウェイガーダと躯体との干渉がないことが確認された。



付図-9.5 コンクリート片の剥落箇所(TC 通り)の構造

5. 目視確認及び打診調査

(1) 調査の概要

現況の調査として、目視確認および打診調査を行った上で、応急処置を実施した。これに加えて、大梁の構造健全性を検討するため、躯体調査を行い、躯体形状及び鉄筋位置を確認した。

(2) 調査内容

躯体形状の確認

鉄筋位置の確認

非破壊検査による位置の確認

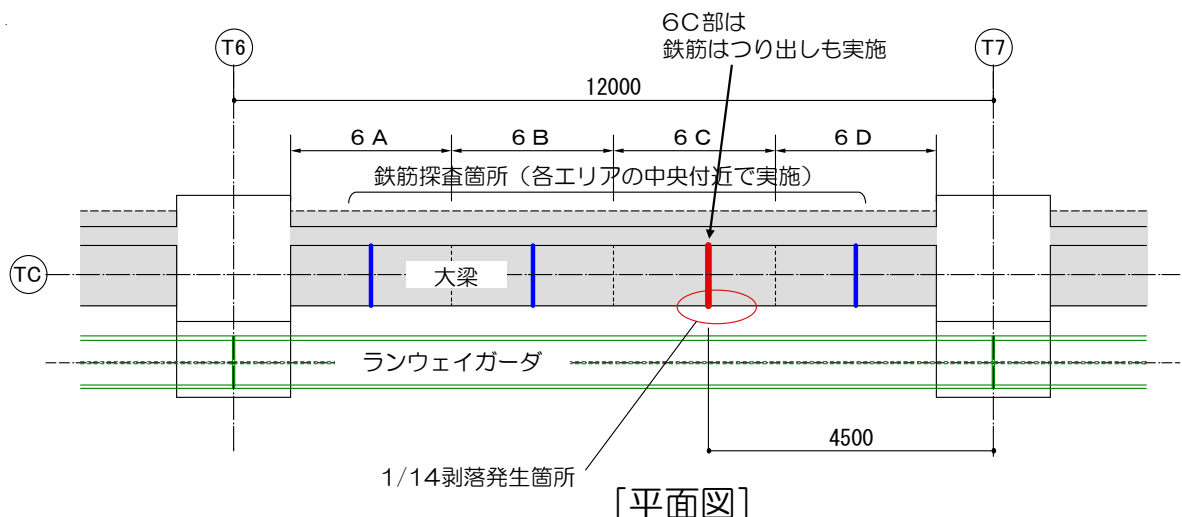
はつり出しによる位置の確認*

*：非破壊検査を行った4箇所のうち、1箇所を代表してはつり出した

(3) 調査箇所

当該大梁(T6～T7 通り)の頂部及び側面のうち、付図-9.6 に示す6A～6Dの4箇所について、非破壊検査により鉄筋位置を確認した。

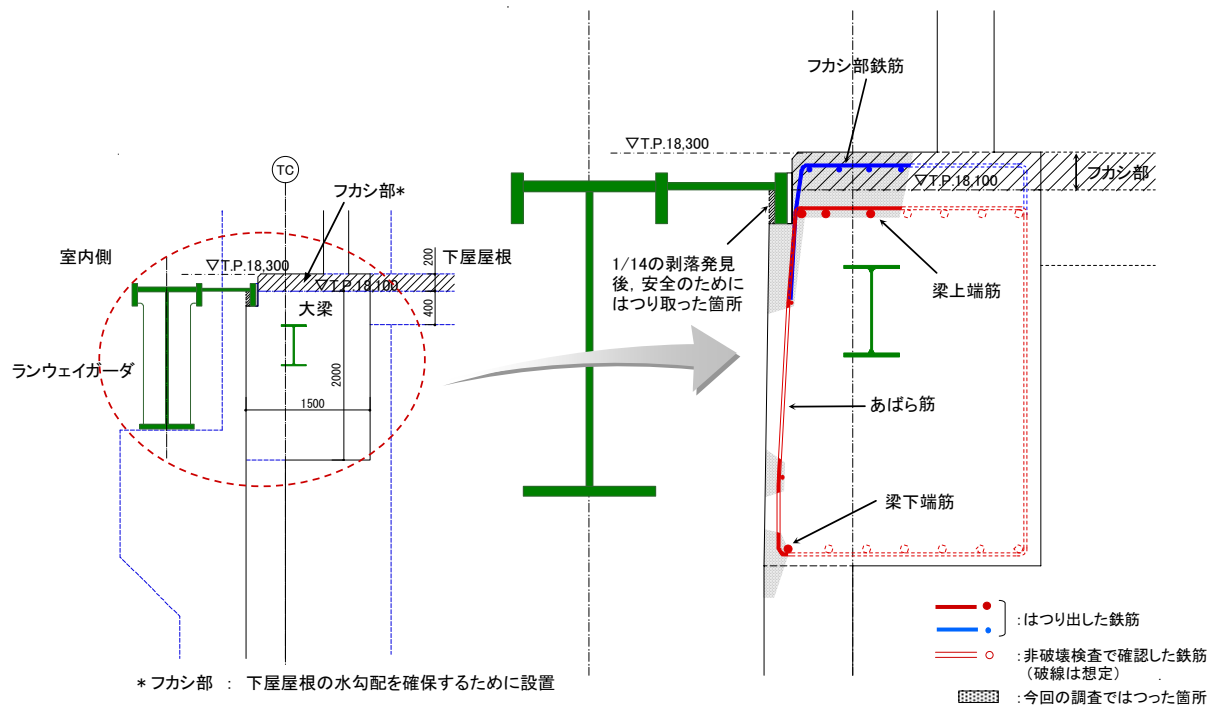
さらに、1月14日に剥落のあった6C部を代表部位としてコンクリートの一部をはつり、鉄筋位置を確認した。



付図-9.6 鉄筋位置の確認箇所

(4) 調査結果

調査の結果確認された大梁の形状及び鉄筋位置を付図-9.7に示す。



付図-9.7 コンクリート剥落部分の大梁形状及び鉄筋位置

6. 干渉の発生原因

設計時において、当該部位はランウェイガードと鉄筋コンクリート躯体が近接して計画される部位であり、両者が干渉することの無いよう、設計段階で十分な干渉チェックが必要である。しかしながら、設計段階での確認が十分に行われず、今回の不具合（干渉）が生じたものと推察される*）。

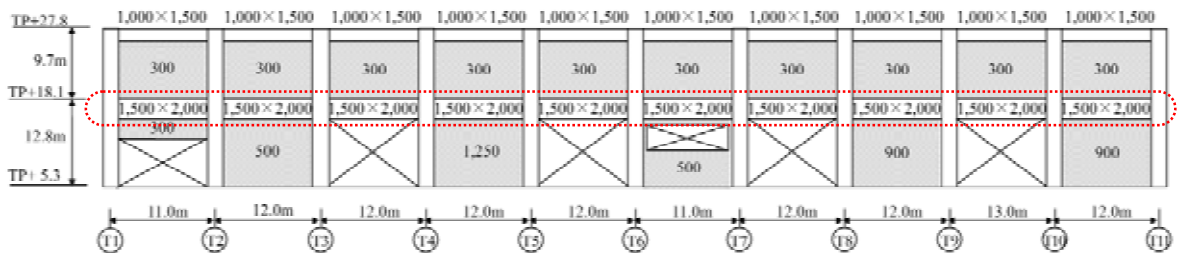
また、建設時において、ランウェイガードと鉄筋コンクリート躯体との干渉が確認されたため、設計-施工間で協議の上、今回の干渉回避策がとられたものと推察される*）。

*）事実確認できる書類は発見できなかったため、当時の状況を推察したものである。

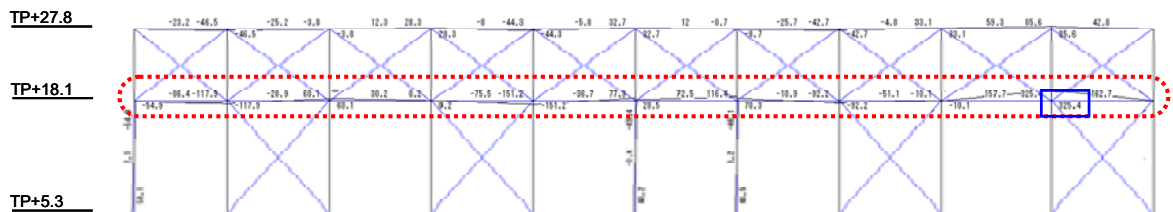
7. 断面欠損が躯体強度に与える影響について

(1) TC 通り架構の概要

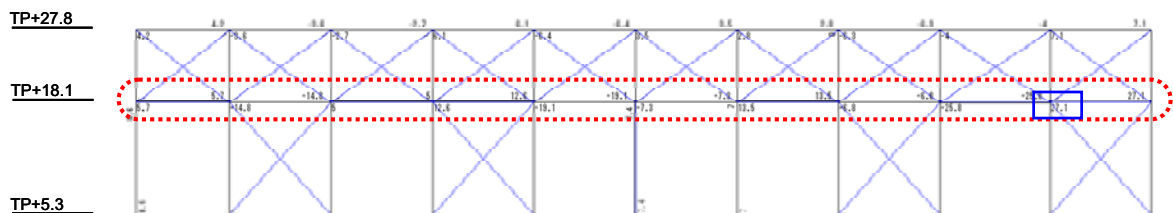
コンクリート剥落が生じた TC 通りフレーム架構図を付図-9.8 に示す。当該部の大梁（図中の赤点線部）は、連続した耐震壁を構成する部材の一部で、鉛直荷重や地震荷重に対しては耐震壁と一体となって抵抗する構造（耐震壁付きフレーム構造）である。このフレームについて、設計荷重に基づく応力を算定した結果を付図-9.9 に示す。



付図-9.8 コンクリート剥落部分の大梁形状及び鉄筋位置



曲げモーメント分布 (単位: tm)



せん断力分布 (単位: t)

付図-9.9 TC 通りフレーム架構応力図 (設計荷重時: 地震荷重時)

(図中の赤点線部は、当該部大梁の応力を示す。 青線太枠内は最大値を示す。)

(2) 断面欠損が大梁強度に与える影響

(1)で算定した最大応力に対して、大梁の断面欠損を考慮した場合の断面検討結果を以下に示す。

- ・最大曲げモーメント $M = 325.4 \text{ t}\cdot\text{m}$
- ・最大せん断力 $Q = 27.1 \text{ t}$
- ・断面寸法 $130\text{cm}\times 200\text{cm}$ (梁幅×梁せい) , $d_c=15\text{cm}$,
 $j=7/8\times (200-15) =161.8\text{cm}$
- ・設計配筋 7-D38 (上下共 : 全断面共通) , SD345 ,
 $f_t = 3,500\text{kg}/\text{cm}^2$ (短期)
- ・コンクリートの設計基準強度 $F_c=240\text{kg}/\text{cm}^2$, $f_s=11.1\text{kg}/\text{cm}^2$, $f_a=23.1\text{kg}/\text{cm}^2$

1) 梁の曲げモーメントに対する検討 (地震荷重時)

$$\begin{aligned}\text{必要鉄筋量} &= M / (f_t \cdot j) = 325.4 \times 10^5 / (3,500 \times 161.8) \\ &= 57.5\text{cm}^2 < 79.8\text{cm}^2 \text{ (7-D38)}\end{aligned}$$

2) 梁のせん断力に対する検討 (地震荷重時)

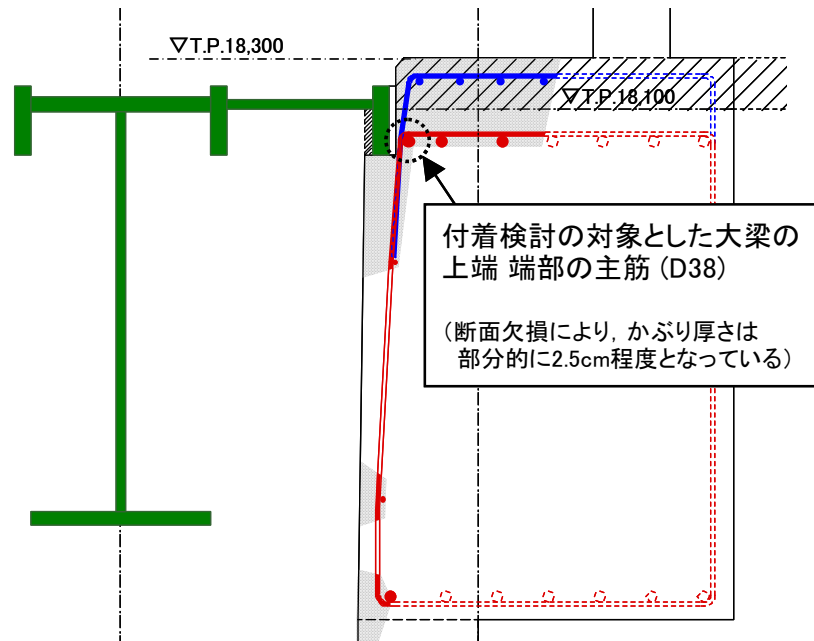
$$\begin{aligned}\text{せん断応力度の検討} \quad \tau &= Q / (b \cdot j) = 27.1 \times 10^3 / (130 \times 161.8) \\ &= 1.29\text{kg}/\text{cm}^2 < 11.1 \text{ kg}/\text{cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{鉄筋の付着に対する検討} \quad \text{req } \phi &= Q / (f_a \cdot j) = 27.1 \times 10^3 / (23.1 \times 161.8) \\ &= 7.25\text{cm} < 84.0\text{cm}\end{aligned}$$

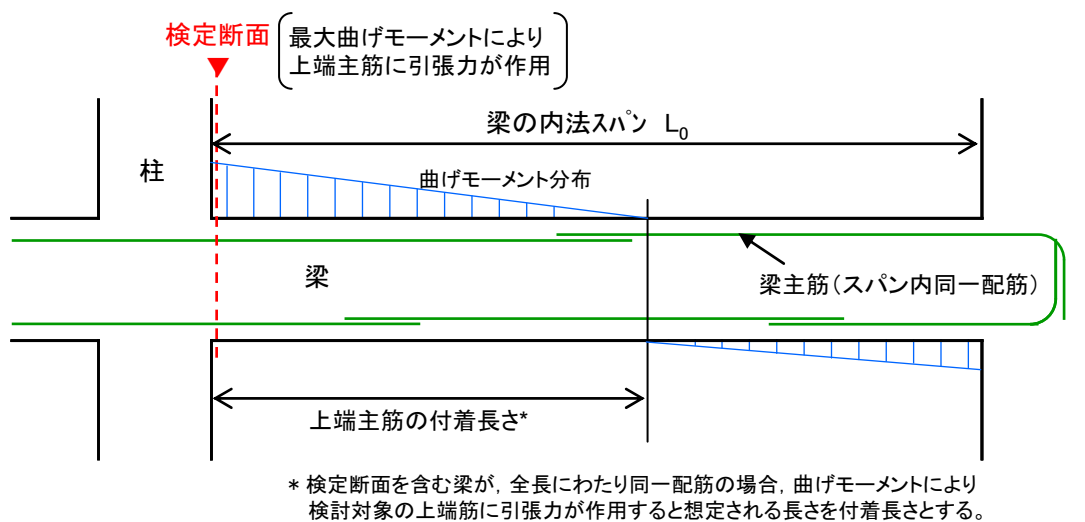
以上より、大梁の断面欠損 (幅が 20cm 欠損したと想定) を考慮しても、作用応力に対して十分な裕度を保有しており、断面欠損が躯体強度に与える影響はないと判断できる。

(3) 梁主筋の付着について

大梁の断面が欠損したことによりかぶりが小さい部分が生じた上端端部主筋について、付着の検討を行う。検定断面としては、地震時の最大曲げモーメントにより上端主筋に引張力が発生する梁端部とし、必要付着長さに対して、当該主筋の付着長さが十分確保されていることを確認する。



付図-9.10 検討対象となる大梁の上端端部主筋



付図-9.11 検討対象となる大梁の主筋と検定断面位置の関係 (概要図)

1) 梁上端筋の付着強度

梁上端筋の付着強度を以下の条件により算定する。

- ・最小かぶり厚さ $C_{\min} = 2\text{cm}$ (実測では、2.5cm程度のかぶり厚さが確保されているが、ここでは安全側に2cmとして検討する)
- ・コンクリート強度 $\sigma_b = 240 \text{ kgf/cm}^2$
- ・断面寸法：150cm×200cm (梁幅×梁せい) , $d_c = 15\text{cm}$,
 $j=7/8 \times d=7/8 \times (200-15)=161.8$ (d:梁有効せい)
- ・設計配筋：7-D38 (上下共：全断面共通) , SD345, 横補強筋 D16@200
- ・付着強度： $\tau_{bu}=23.5\text{kgf/cm}^2$

2) 曲げモーメントにより生ずる梁主筋の存在応力

- ・最大曲げモーメント $M = 325.4 \text{ t}\cdot\text{m}$
- ・梁主筋の存在応力 $\sigma_t = M / (A_s \cdot j) = 325.4 \times 10^5 / (11.4 \times 7 \times 161.8)$
 $= 2521\text{kgf/cm}^2$

3) 必要付着長さ

- ・必要付着長さ $L_{db} = \sigma_t \cdot A_s / (\tau_{bu} \cdot \phi) + d = 2521 \times 11.4 / (23.5 \times 12) + 185$
 $= 287\text{cm}$

4) 当該鉄筋の付着長さ

当該部の梁主筋は全断面同一配筋であり、上端筋も同一スパン全長で通し配筋としている。この場合の付着検討として、想定曲げモーメントにより上端主筋に引張応力が作用する長さを付着長さ L_d とすると、

- ・付着長さ $L_d = d + 0.5(L_0 - d) = 185 + 0.5 \times (1120 - 185)$
 $= 652\text{cm} > 287\text{cm}$ (必要付着長さ)

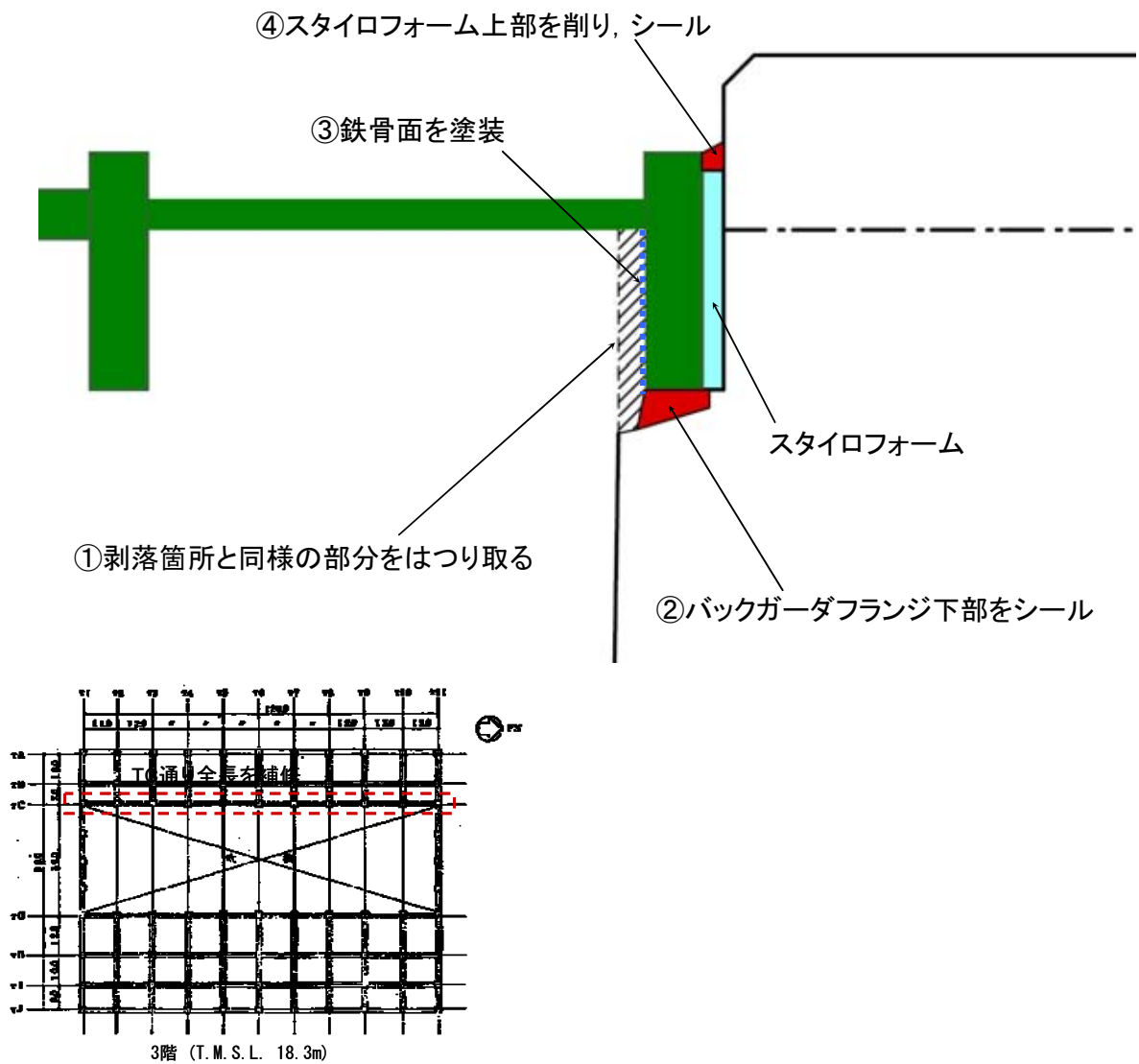
以上より、検討対象とした上端主筋は十分な付着長さが確保されていると考えられる。

* 本節に記載した付着の検討は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法— 1999」に記載された方法に基づき実施したものである。

8. 補修方法

安全のため、干渉している TC 通り全長にわたって付図-9.12 に示す補修を実施する。

- ・剥落部と同様の箇所をはつり取り、鉄骨との取り合い部をシールする。(①②)
- ・鉄骨面を塗装する。(③)
- ・スタイロフォーム上部を削り、シールする。(④)



付図-9.12 補修方法の概要