

柏崎刈羽原子力発電所 1号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る 点検・評価状況に関する追加報告 (T/Gペデスタル)

平成22年 2月 19日



東京電力

これまでの経緯

- 新潟県中越沖地震後、1号機タービン建屋において、T/Gペデスタルに隣接*するタービン建屋コンクリートの剥落事象が確認された。剥落の原因は、コンクリートノロを介し、タービン建屋とT/Gペデスタル間で支圧力の伝達が行われたことであると推定される。
- 地震後に実施した点検の結果により、以下のことを確認している。
 - T/Gペデスタルとタービン建屋の接触痕の有無を確認した結果、接触が確認されたのはコンクリートノロを有しているごく一部であり、それ以外の箇所において、接触痕は確認されなかったこと
 - T/Gペデスタルの基礎定着部及びブローメン架構部を点検した結果、構造・強度に影響を与えるような損傷は認められないこと

*タービン建屋とT/Gペデスタル間には、25mmのギャップが設けられている。

これまでの経緯と今回のご報告内容

- T/Gペデスタルとタービン建屋間でコンクリートノロを介して支圧力の伝達が行われた部位について、T/Gペデスタルがタービン建屋から受けた影響について評価を行った結果、T/Gペデスタル側コンクリートの健全性には影響がないことを確認している。
- 今回は、T/Gペデスタル架構部における鉄筋等の健全性評価を行うため、動的解析による健全性評価を実施した。

I. T/Gペデスタルの点検結果

T/Gペデスタル ラーメン架構部点検結果のまとめ

- T/Gペデスタルにおけるラーメン架構部への点検を実施した結果、構造・強度に影響を与える損傷は確認されていない。

(平成21年12月18日ご説明済み)

点検範囲：ラーメン架構部全体

建物・構築物の点検方法に準じ、地震により発生するひび割れや剥離・剥落に着目して評価

⇒ 軽微なひび割れや剥落を確認しているが、いずれも構造・強度に影響を与えるものではないことを確認

なお、T/Gペデスタルの機器定着部（基礎ボルト廻り）についても、基礎ボルトから進展する破壊に着目して評価した結果、機能に影響を与えるような損傷がないことを確認している。

ラーメン架構部の点検結果のまとめ

■ ラーメン架構部ひび割れ調査結果

階	ひび割れ箇所数 (W:ひび割れ幅 (mm))				最大幅
	$W < 0.3$	$0.3 \leq W$	$1.0 \leq W$	合計	
B2F	9	0	0	9	0.2mm
B1F	7	0	0	7	0.2mm
合計	16	0	0	16	

点検により確認された、今回の地震によって発生したことが否定できないひび割れは最大でも0.2mmであり、評価基準値(1.0mm)未満で、構造・強度に影響を与えるひび割れでないことを確認している

■ ラーメン架構部剥落部調査結果

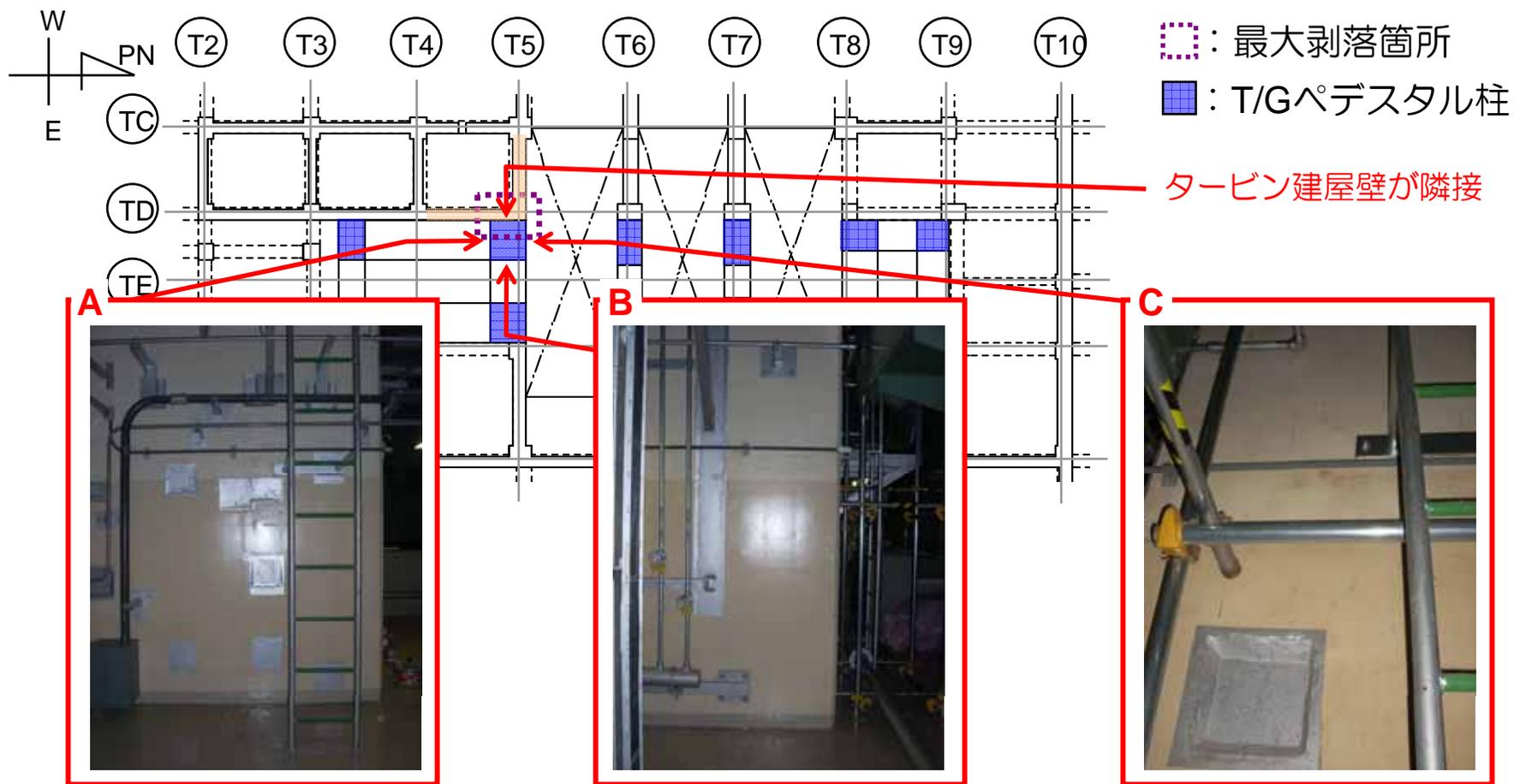
発生部位	剥落の大きさ 幅(m)×長さ(m)×最大深さ(mm)
梁	0.3×1.35×30
梁	0.2×0.4×30
柱	0.3×0.03×10*
柱	0.1×0.2×30
柱	0.35×0.85×65

点検により、確認された、剥離・剥落箇所は全部で5箇所あったが、すべて局部的で、コンクリートのかぶり部分のみに発生していたので、構造・強度への影響はないと評価する。なお、剥落部分については、欠損断面の復旧を行い、健全性を確保している。

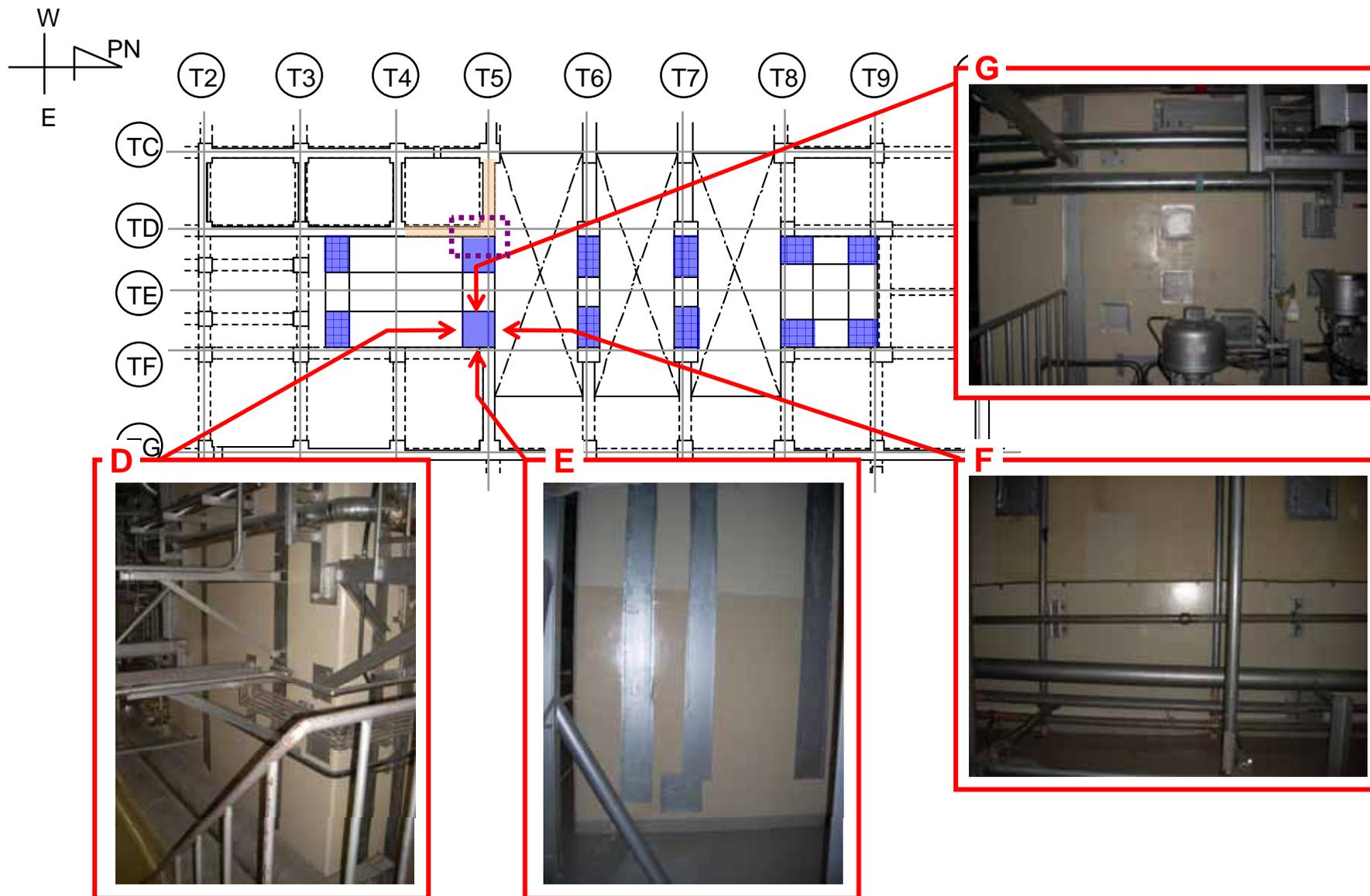
*地震影響でないと評価(12月18日ご説明済み)

ラーメン架構部の点検状況（最大剥落箇所近傍柱脚部）（1 / 2）

- コンクリートノロを介した支圧力の伝達により、T/Gペデスタルは柱脚部において、最大のモーメントがかかると考えられるが、柱脚部においても有意な損傷は特に確認されていない。その例として、タービン建屋コンクリートの最大剥落箇所*周辺のT/Gペデスタル柱脚部の状況を示す。



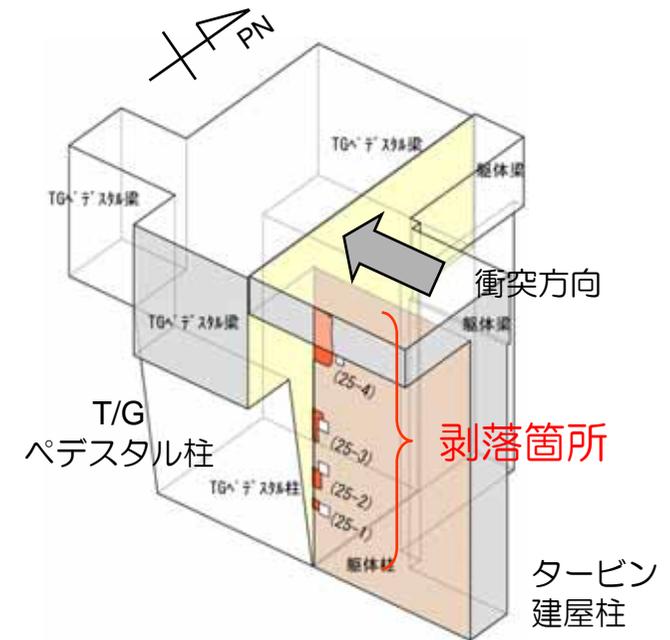
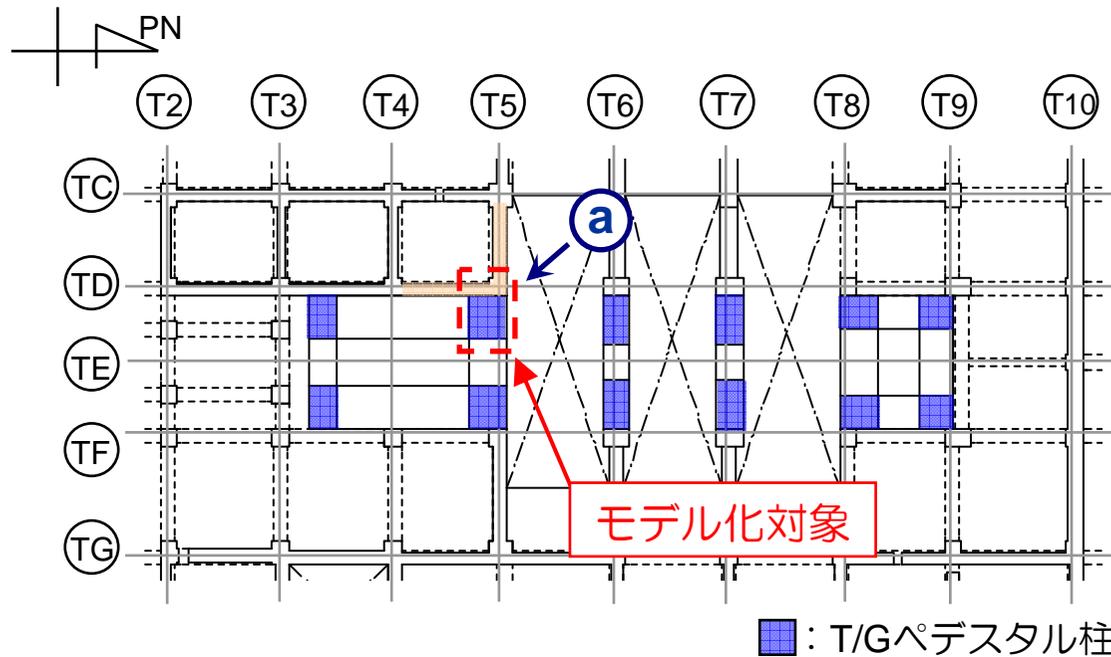
ラーメン架構部の点検状況（最大剥落箇所近傍傍柱脚部）（2/2）



Ⅱ. 動的解析によるT/GペDESTALの健全性評価

弾塑性有限要素解析によるT/Gペデスタルの影響評価

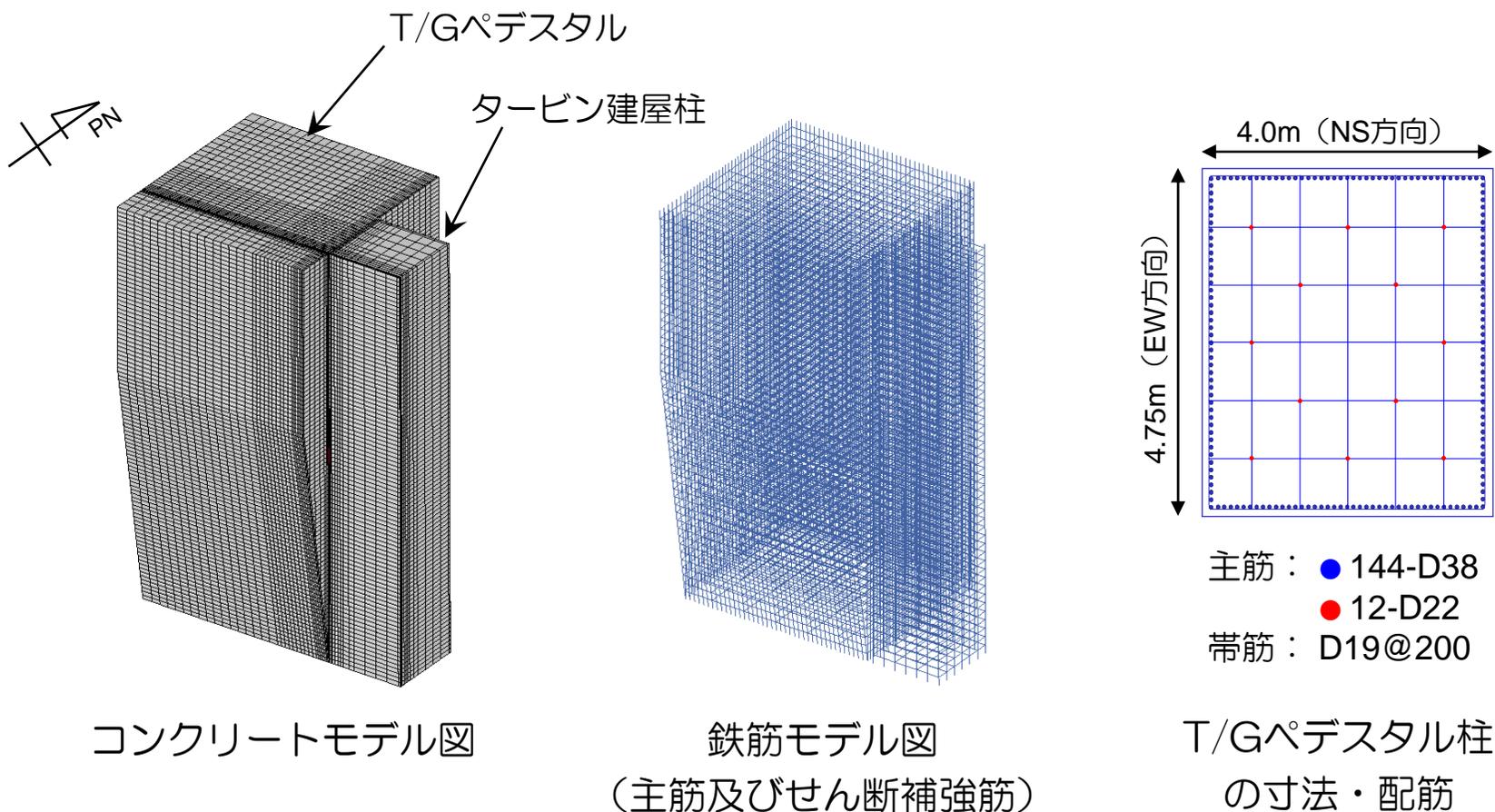
- 新潟県中越沖地震時、コンクリートノロを介したタービン建屋柱とT/Gペデスタルとの衝撃力の伝達による影響評価を行うため、3次元弾塑性有限要素法を用いた健全性評価を行う。
- 解析対象はタービン建屋コンクリートの最大剥落部分を含む (T5) 通りのタービン建屋柱とT/Gペデスタルの一部とする。



解析対象範囲図
(a) 方向矢視アイソメ図

検討条件の設定（1）

- タービン建屋柱及びT/Gペデスタルのモデル化
検討対象箇所のコンクリートをソリッド要素、鉄筋をばね要素でモデル化する。



コンクリートモデル図

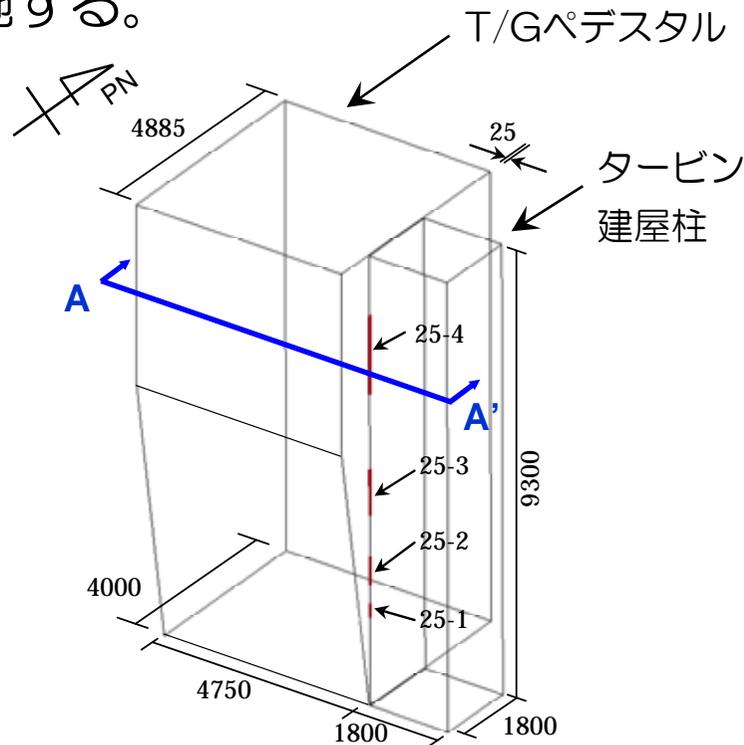
鉄筋モデル図
(主筋及びせん断補強筋)

T/Gペデスタル柱
の寸法・配筋

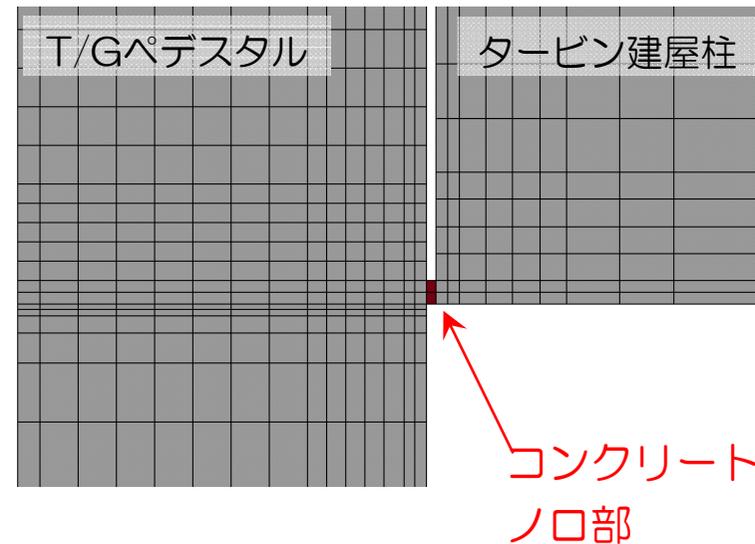
検討条件の設定（2）

■ コンクリートノロのモデル化

タービン建屋とT/Gペデスタル隣接部には、ギャップが設けてあるが、剥落箇所の調査結果から、コンクリートノロがギャップを埋めていたものと考えられるため、3次元有限要素モデルでこれを考慮した解析を実施する。



コンクリートノロ部
(赤で示す)



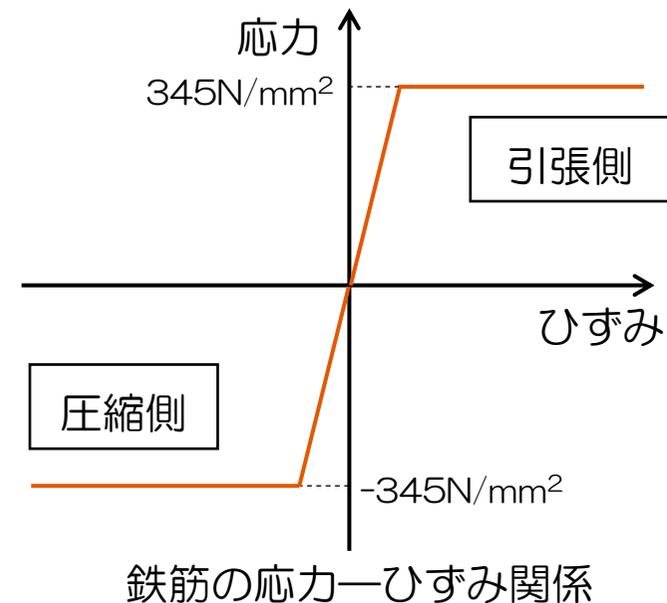
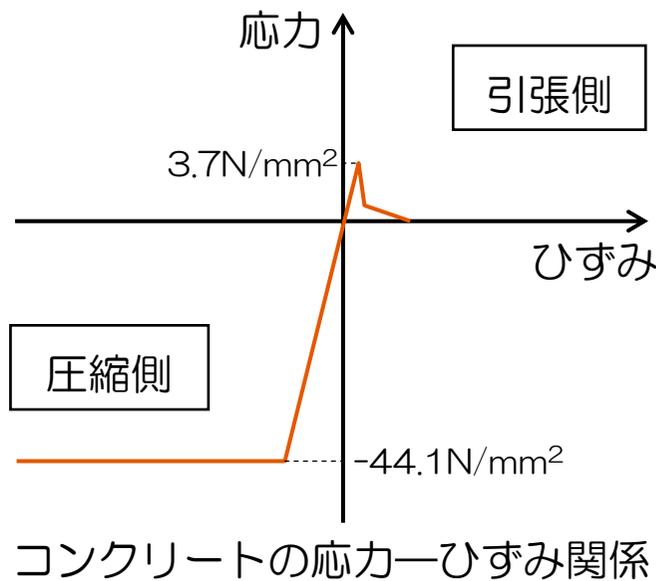
コンクリートノロモデル図*
(AA'断面図)

*拡大して表示

検討条件の設定（3）

■ コンクリート及び鉄筋の弾塑性特性

コンクリートは実強度に基づく応力-ひずみ関係を、鉄筋は規格降伏点に基づく応力-ひずみ関係を与える。さらに、コンクリートに対してはひずみ速度に応じた強度上昇を考慮する。



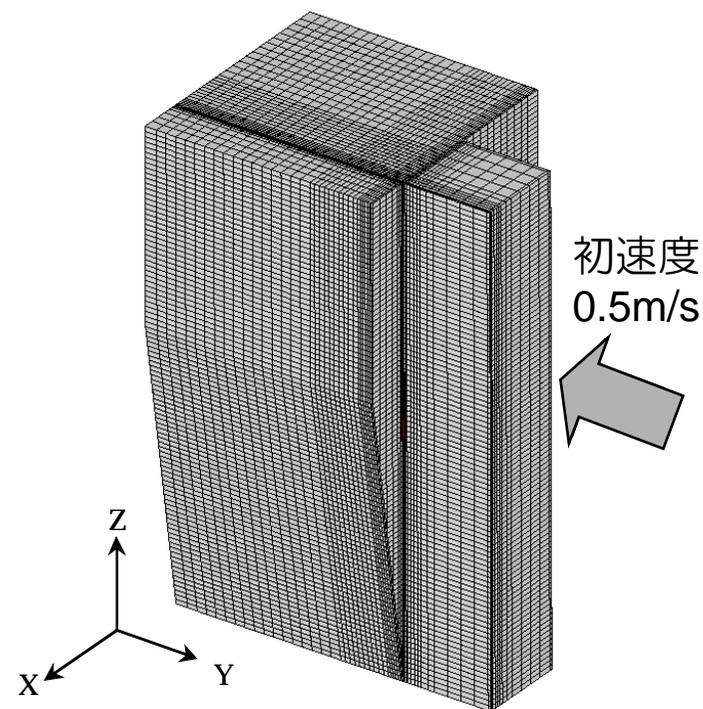
検討条件の設定（４）

■ 衝突条件の仮定

初期条件としてタービン建屋柱の初速度を与え、T/Gペデスタル―タービン建屋柱間に作用する衝撃力によってT/Gペデスタル内部の鉄筋にどのような応力が生じるのかを評価する。衝突速度は、剥落部位との対応を考慮して、0.5m/sと仮定した。

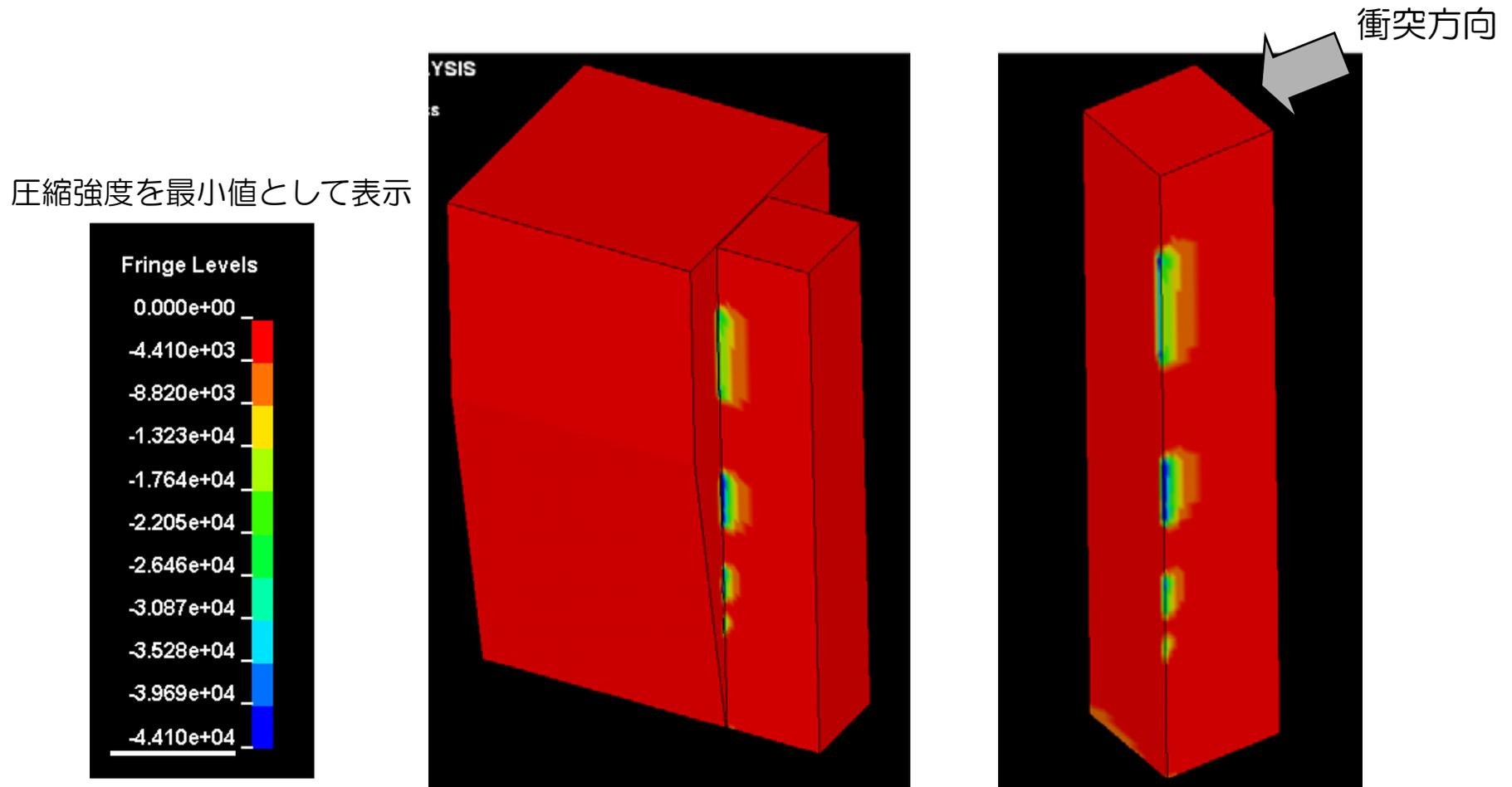
また、境界条件は以下の通り。

- ①タービン建屋柱とT/Gペデスタル脚部を固定
- ②T/Gペデスタルの梁取り付け位置においてY方向の変位を拘束



最大値発生時のコンクリートの主応力分布

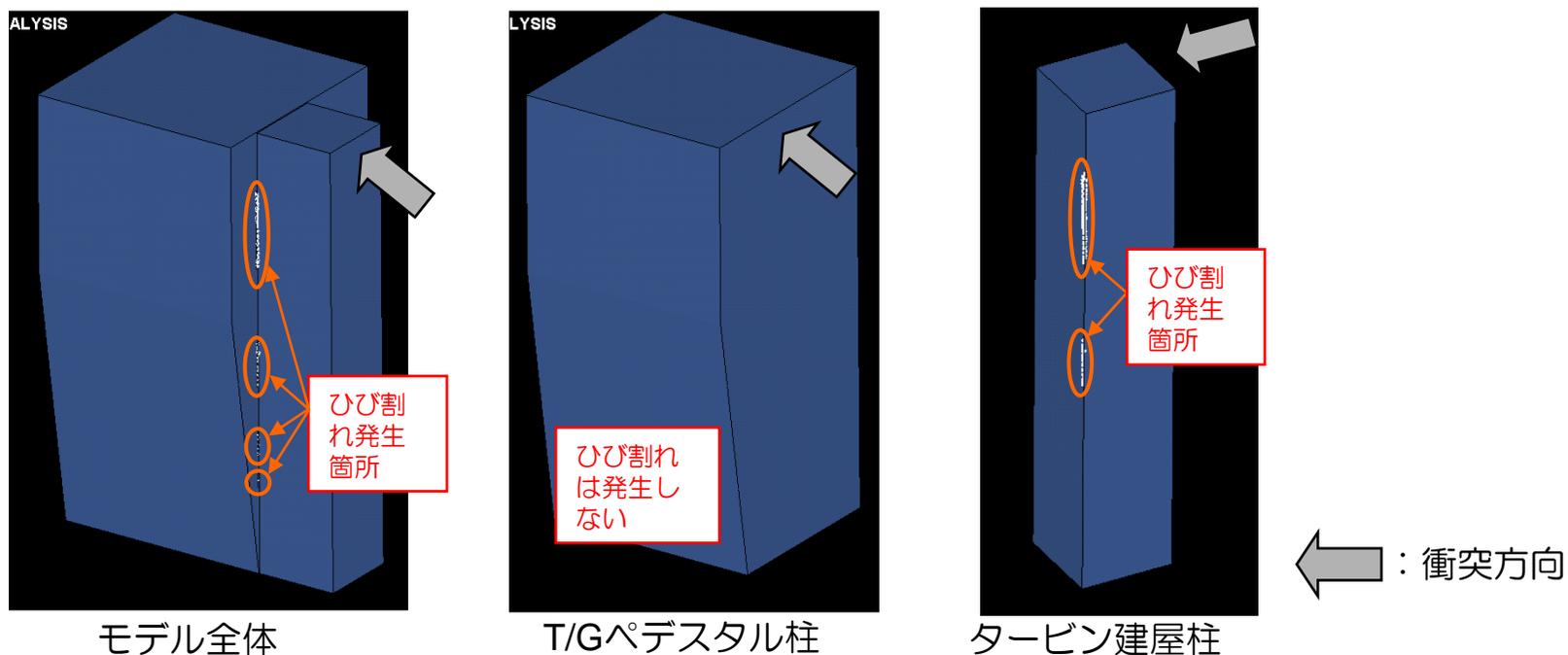
- 最大値発生時刻でのコンクリート圧縮主応力分布図から、圧縮応力が大きくなっている箇所と剥落箇所とは概ね対応していることが観察できる。



コンクリート圧縮主応力分布図（最大値発生時刻）

コンクリートの損傷状況

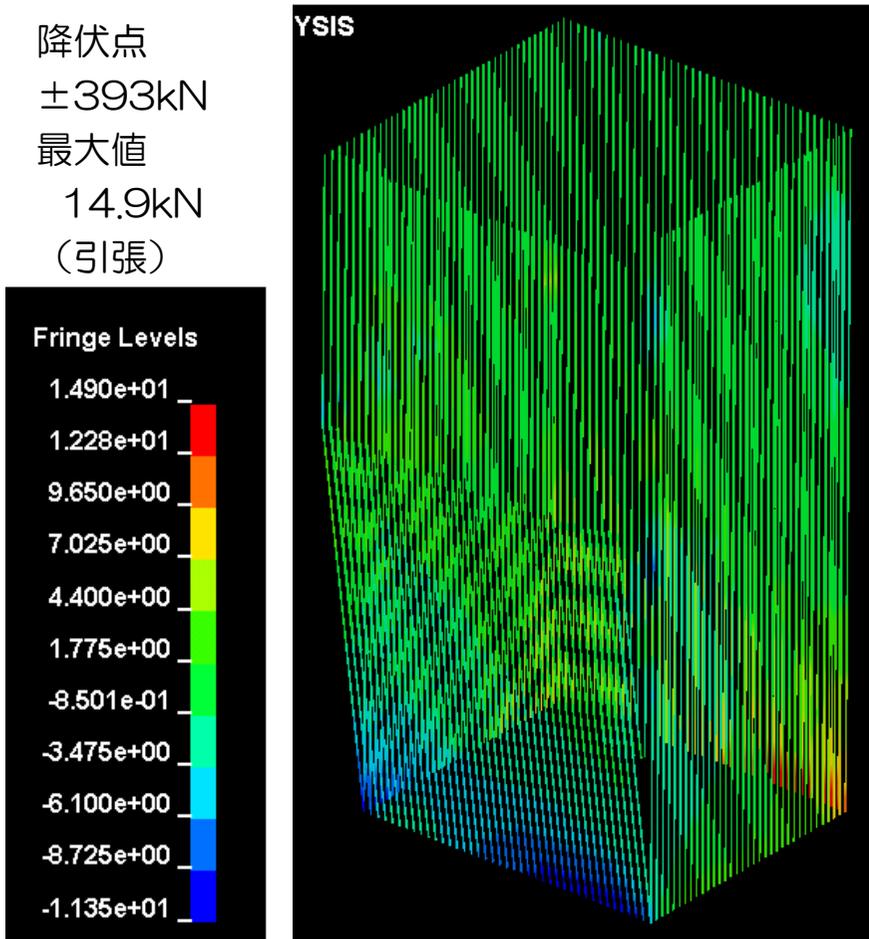
- コンクリートのひび割れ分布図から、T/Gペデスタルとの接合部付近にひび割れが観察できる。より詳細に確認すると、T/Gペデスタル側にはひび割れが生じておらず、タービン建屋柱側のひび割れが生じており、ひび割れ発生箇所は、剥落箇所とは概ね対応していることが分かる。なお、タービン建屋柱側に確認されたひび割れは、かぶりコンクリート部のみであり、コア部には生じていない。



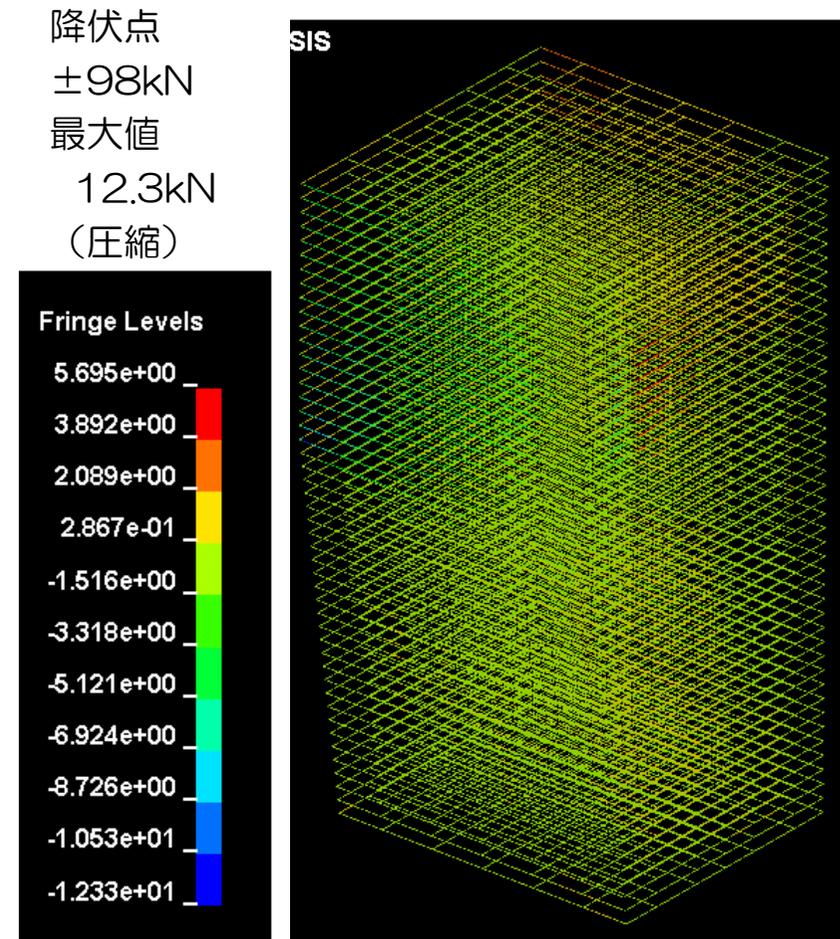
コンクリートのひび割れ分布図

最大値発生時の鉄筋の軸力分布（T/Gペデスタル）

- 主筋及びせん断補強筋に発生する応力は降伏点に達しておらず、T/Gペデスタルとしての健全性に問題はないと考えられる。



主筋の軸力分布図（kN）

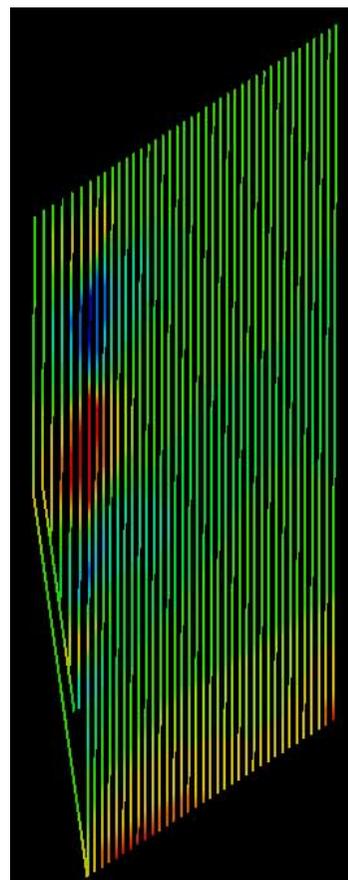
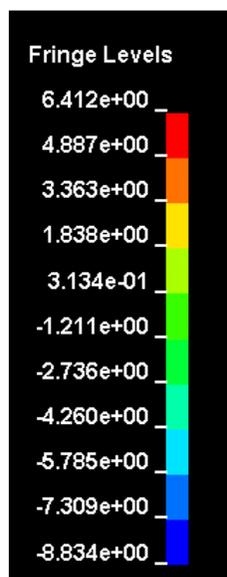


せん断補強筋の軸力分布図（kN）

衝突面近傍の鉄筋の軸力分布（T/Gペデスタル）

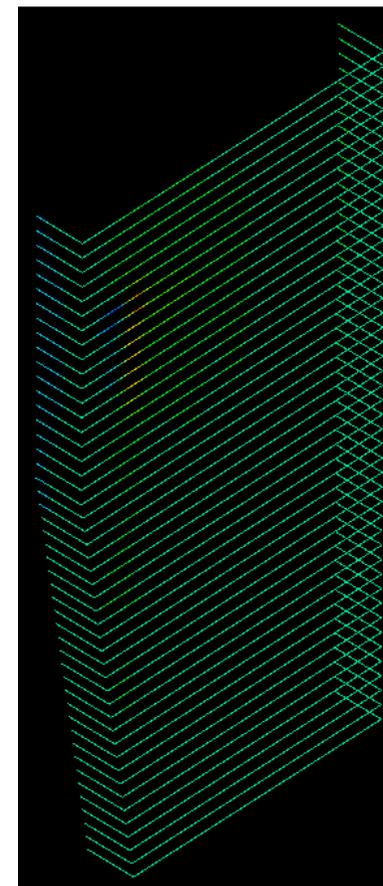
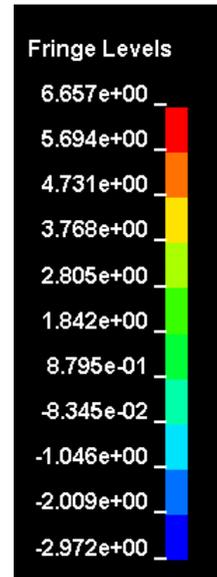
- 衝突面近傍の主筋及びせん断補強筋に発生する応力は、T/Gペデスタル全体での最大値と比べると半分程度であり、T/Gペデスタル側は剥落箇所近傍の局所的な影響は小さかったものと考えられる。

降伏点
±393kN
最大値
8.8kN
(圧縮)



主筋の軸力分布図 (kN)

降伏点
±98kN
最大値
6.7kN
(引張)



せん断補強筋の軸力分布図 (kN)

IV. まとめ

まとめ（1 / 2）

- 新潟県中越沖地震後、T/Gペデスタルとタービン建屋の接触痕の有無を確認した結果、接触が確認されたのはコンクリートノコを有しているごく一部であり、それ以外の箇所において、接触痕は確認されなかった。
- また、T/Gペデスタルラーメン架構部のコンクリート部を点検した結果、構造・強度に影響を与えるような損傷は確認されていない。

まとめ（2/2）

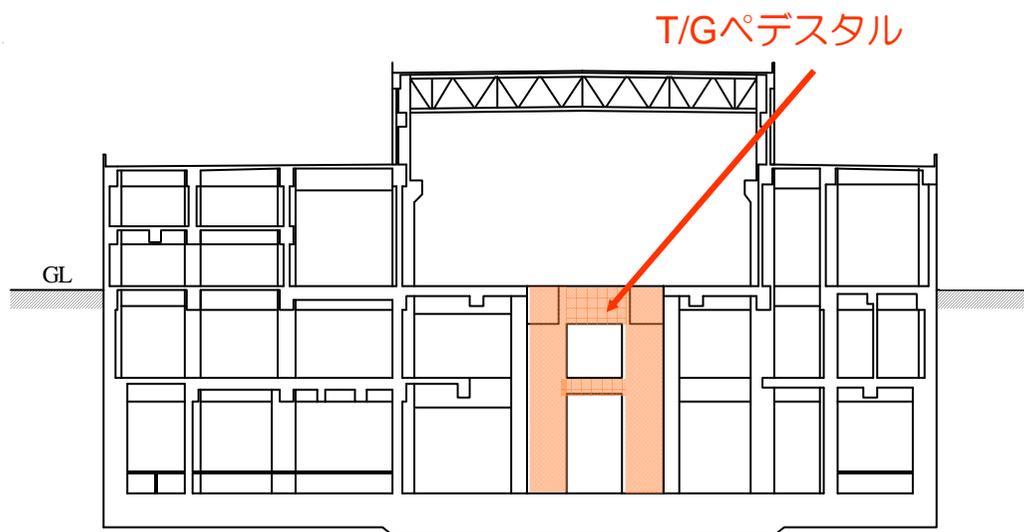
- タービン建屋柱とT/Gペデスタルが衝突したと仮定し、動的弾塑性有限要素解析を用いてT/Gペデスタルの健全性を検討した結果、以下の結論を得られた。
 - T/Gペデスタルコンクリートにはひび割れが生じないことが確認された。なお、タービン建屋コンクリート圧縮主応力分布から得られた圧縮応力が大きくなっている箇所と、剥落箇所は概ね対応しており、仮定した衝突速度の妥当性も確認できている。
 - T/Gペデスタルの主筋及びせん断補強筋に発生する応力は降伏点に達しておらず、T/Gペデスタルとしての健全性に問題はないと考えられる。
- 動的弾塑性有限要素解析結果から、T/Gペデスタルの健全性に問題はないとの評価が得られており、T/Gペデスタルの点検結果を裏付けることができている。

参考資料

【参考】タービン建屋コンクリート剥落事象の概要（再掲）

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

※タービン建屋とT/Gペデスタル間には、25mmのギャップが設けられている。

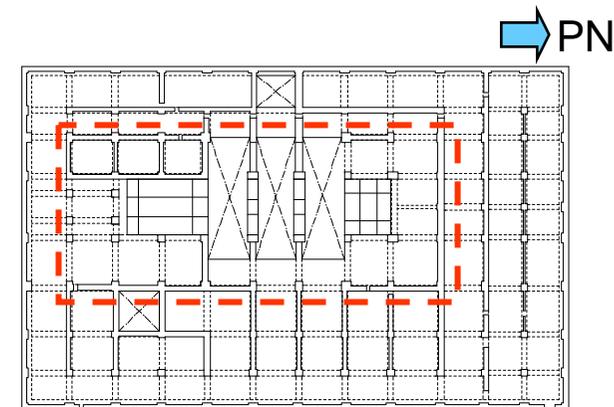


1号機タービン建屋断面図（東西方向）

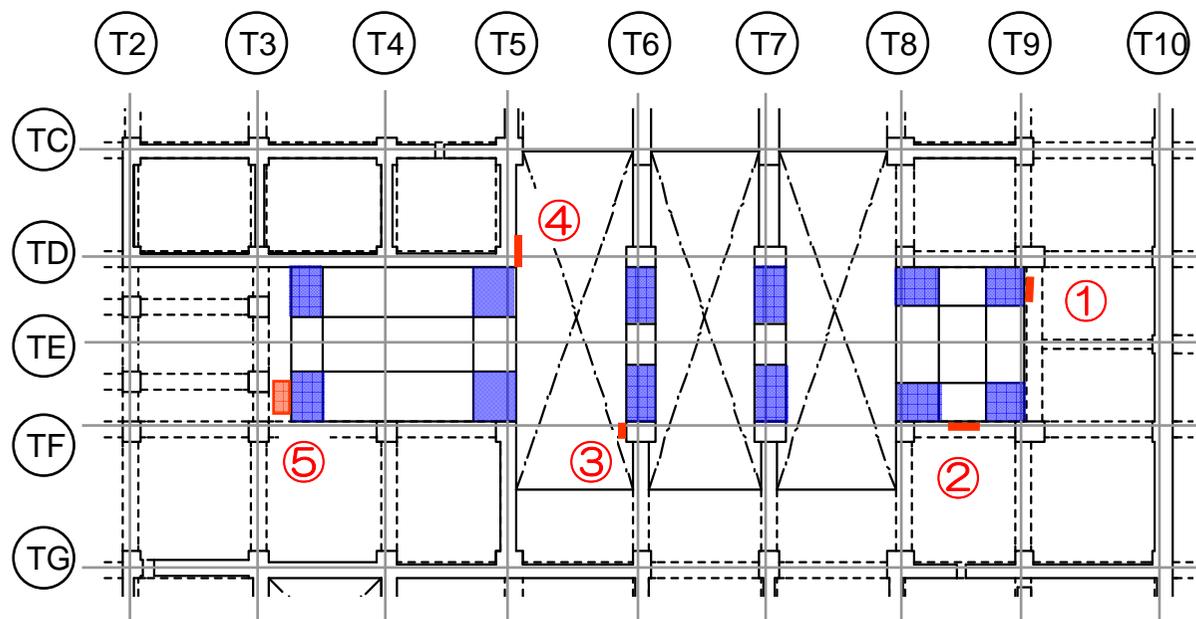


【参考】タービン建屋剥落箇所調査結果（再掲）

No.	発生部位	箇所数	剥落の大きさ 幅(m)×長さ(m)×最大深さ(mm)
①	梁底	1	0.35 × 0.60 × 40
②	梁底	1	0.1 × 0.2 × 30
③	柱	1	0.08 × 0.35 × 30
④	柱	4	最大 1.0 × 1.7 × 198
⑤	スラブ底	3	最大 0.6 × 1.5 × 30

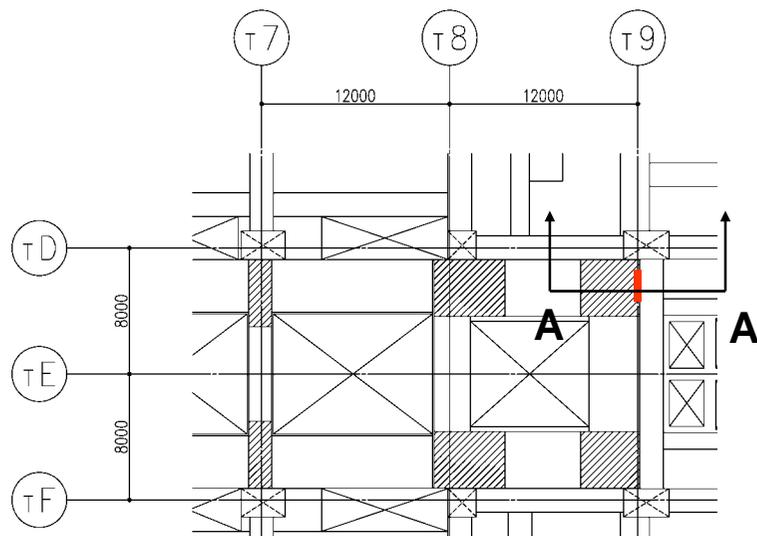


タービン建屋地下1階平面図



T/Gペデスタル周辺剥落箇所調査図

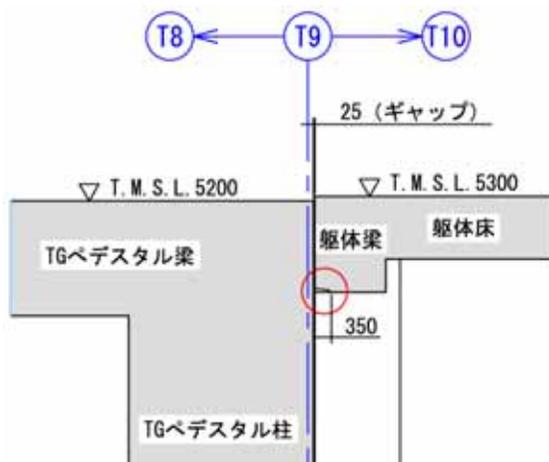
【参考】調査結果 (NO.①) (再掲)



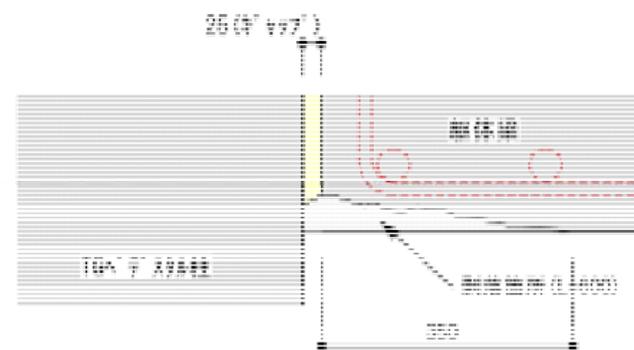
剥離箇所No.①周辺平面図



剥落部位写真

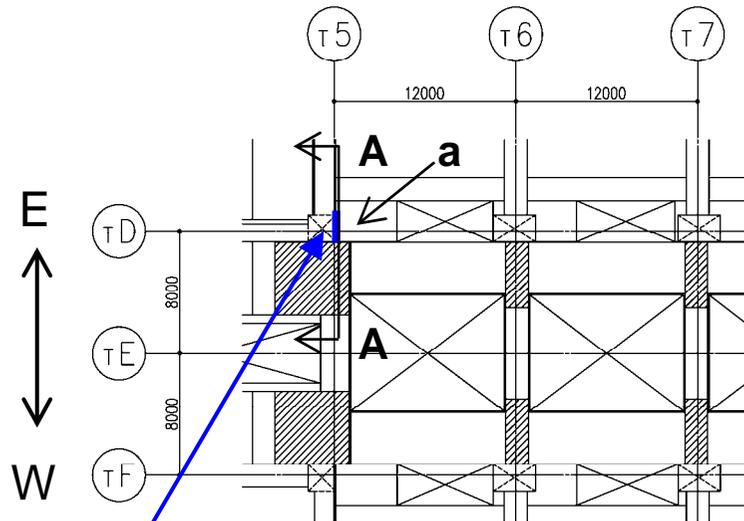


A-A断面図



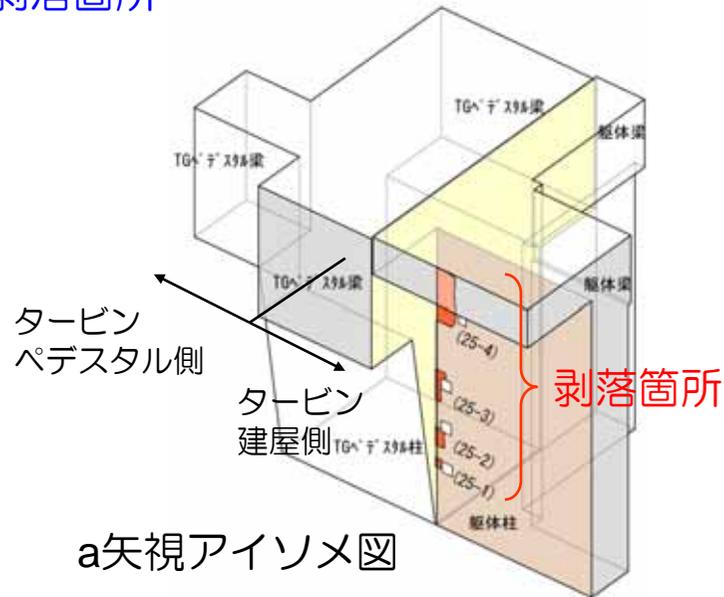
剥離部拡大図

【参考】調査結果 (NO.④) (最大剥落箇所) (再掲)



最大剥離箇所平面図

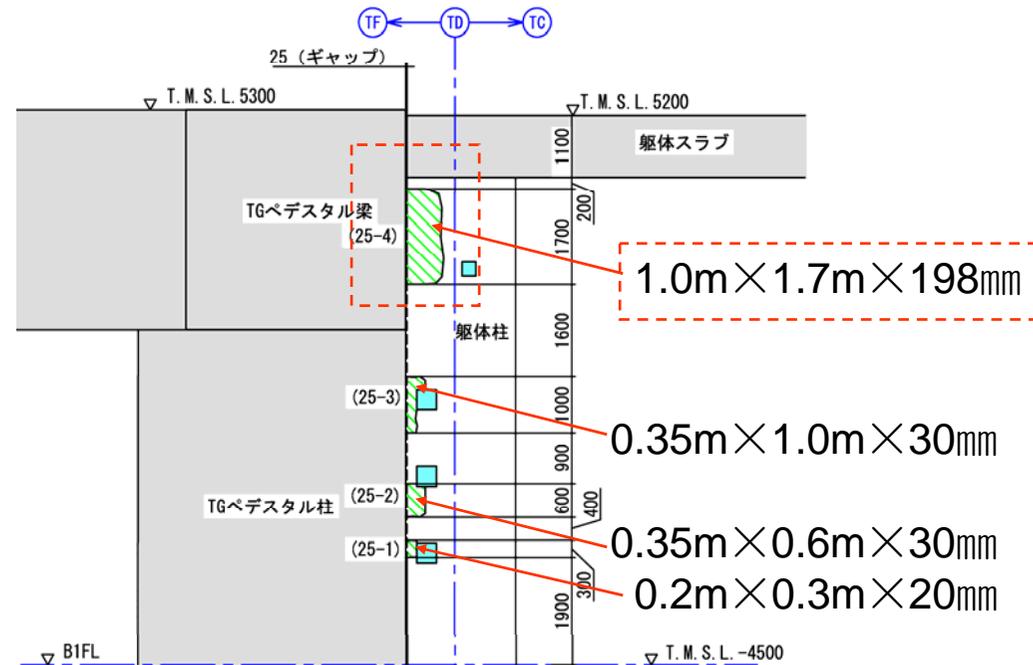
剥落箇所



a矢視アイソメ図

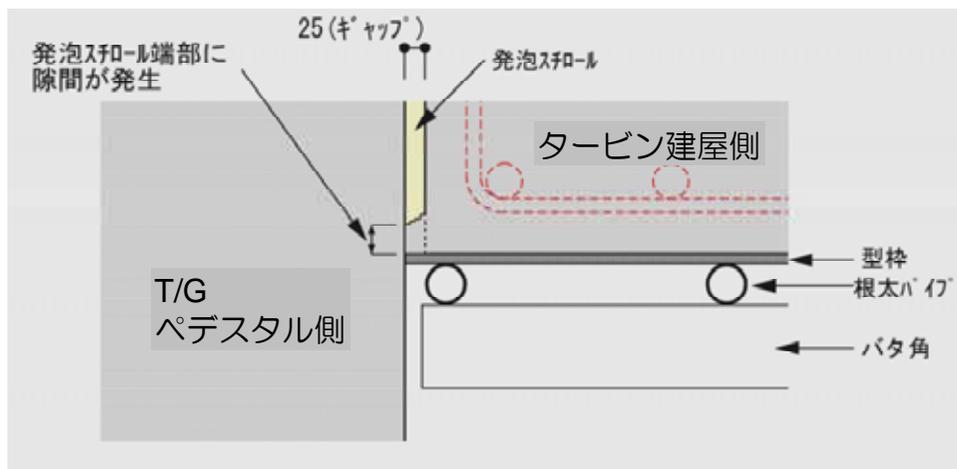


剥落部位写真

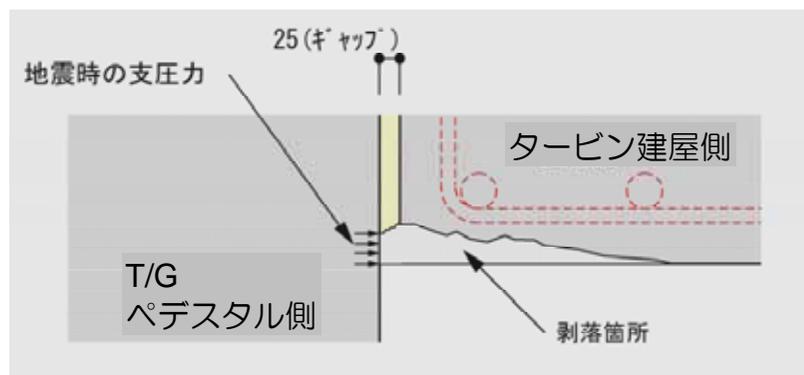


A-A断面図

【参考】剥落原因の推定（再掲）



施工時の状況



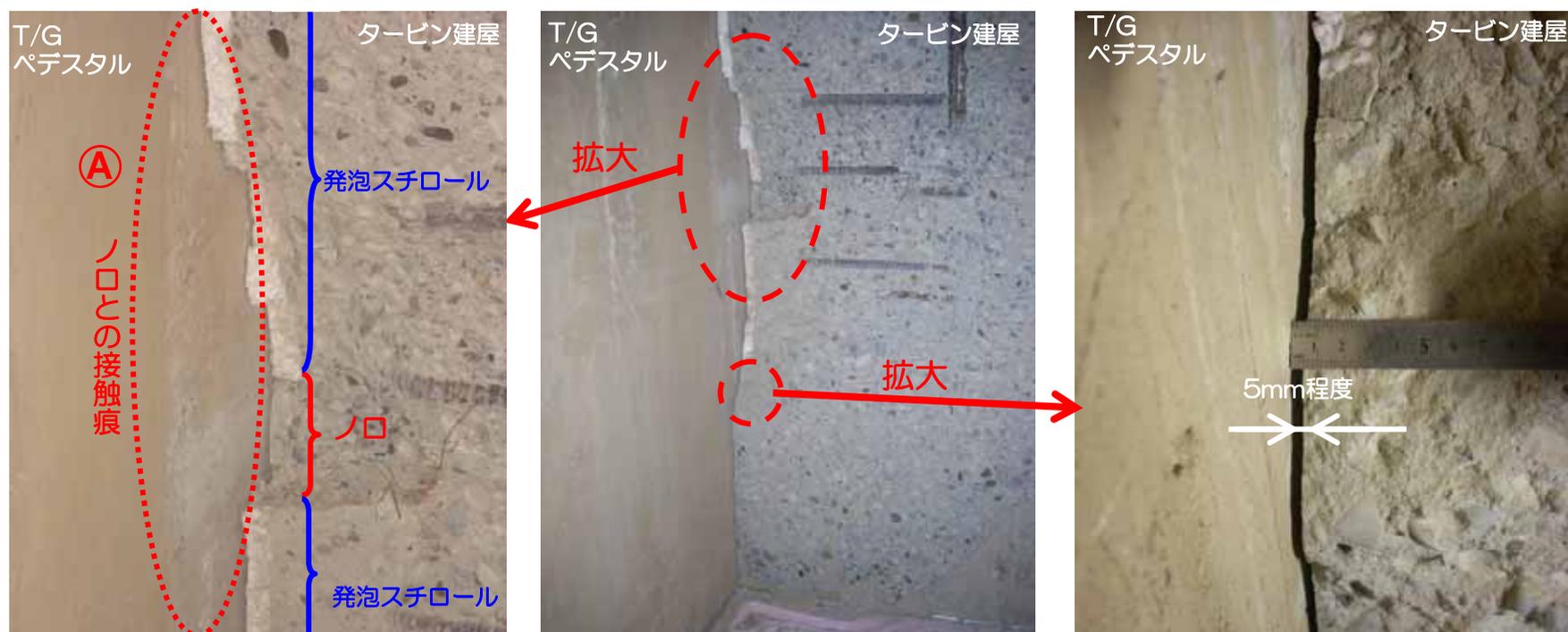
地震時の状況

○コンクリート剥落箇所周辺の状況を調査したところ、T/Gペデスタルと建屋間の25mmギャップが部分的に無い箇所が見られた。

○当該部位は、T/G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、タービン建屋側の躯体を施工しているが、コンクリートの打設時に発泡スチロールが損傷する等の要因で、コンクリートのノロが回り込んだ可能性が考えられる。

○このような要因でギャップがふさがった箇所において、地震時に支圧力が作用し、躯体表面の剥離を生じたと考えられる。

【参考】 No.④（最大剥落箇所）近傍の点検結果（再掲）



- 剥落部を含め近傍には断続的にノ口（赤線部）が残存
- 発泡スチロール露出部にもつぶれや破れ等の変化は見られず、設計厚さとほぼ変化なく存在していることを確認
- 剥落部T/GペDESTAL側には、ノ口との接触を示す痕跡が認められるが、それ以外の箇所に接触を示す痕跡は確認されなかった（上記写真 A 部参照）
- T/GペDESTAL側コンクリートの損傷は確認されなかった
- ノ口残存部とT/GペDESTALとの間隙は、5mm程度あることを確認

【参考】事例1：地震影響と判断したひび割れ（再掲）

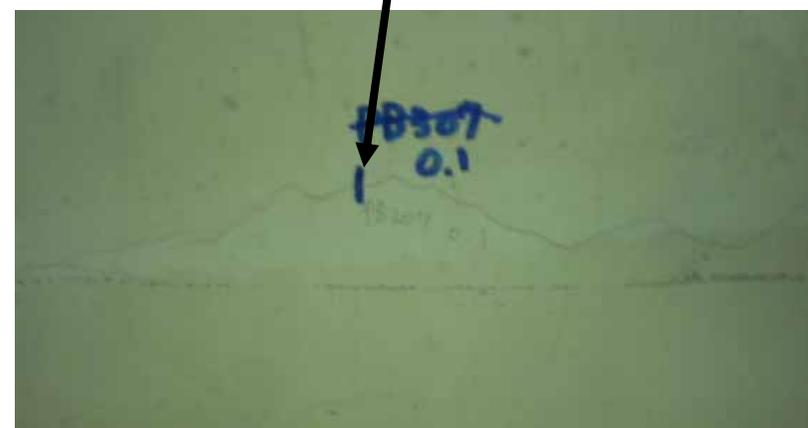
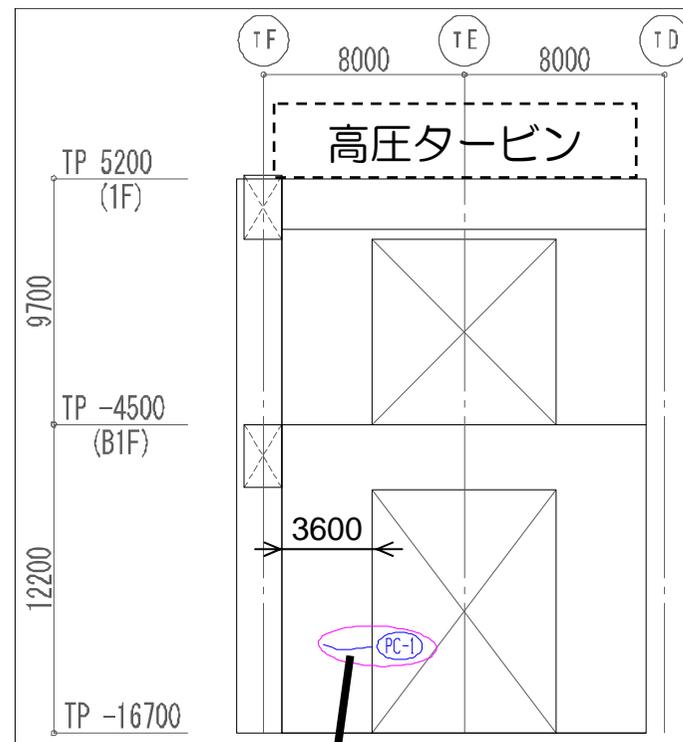
■ T9-TE～F間柱に確認したひび

事象： T9-TE～F間のT/Gペデスタル柱（北面）に幅約0.1mm 長さ約1600mmの水平に走り、且つ隣面（西面）に回り込む「L字」状のひび割れを確認した。

評価： ひび割れは、乾燥収縮によるものとも考えられるが、地震によって柱や梁に対して曲げが生じた際、「L字」または「コの字」状にひび割れが入る「曲げひび割れ」に近い形状とも考えられることから、地震に起因するひび割れである可能性も否定できないとの評価した。

なお、ひび割れ幅は0.1mm程度と微小であるため、T/Gペデスタルの構造・強度の健全性に影響を与えるものではない。

対策： エポキシによる補修を実施した。



【参考】事例2：地震影響と判断しなかったひび割れ（再掲）

■ T5~6-TD間に確認したひび割れ

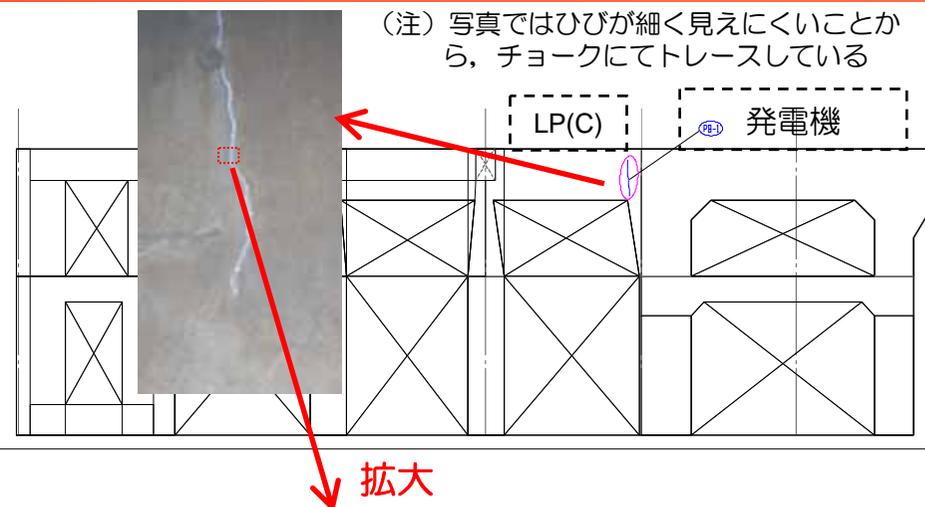
事象： T5~6-TD間のT/Gペデスタル
梁端部近傍の側面に、幅約0.35 mm
~0.1mm、長さ2900mmの垂直方向
に走るひび割れを確認した。

評価： 以下2点より、本事象は地震に起因
するひび割れではなく、乾燥収縮等
によるひび割れであると評価した。

- ①ひび割れ開口表面部（エッジ部）
が丸くなっており、地震発生前に
生じた古いひび割れであると考え
られること（右図参照）。
- ②ひび割れは梁側面（東面）のみで
あり、「L字」または「コの字」
状にひび割れが入る曲げひび割れ
と異なること。

なお、ひび割れ幅は0.35mm 程度
と微小であるため、T/Gペデスタル
の構造・強度の健全性に影響を与え
るものではない。

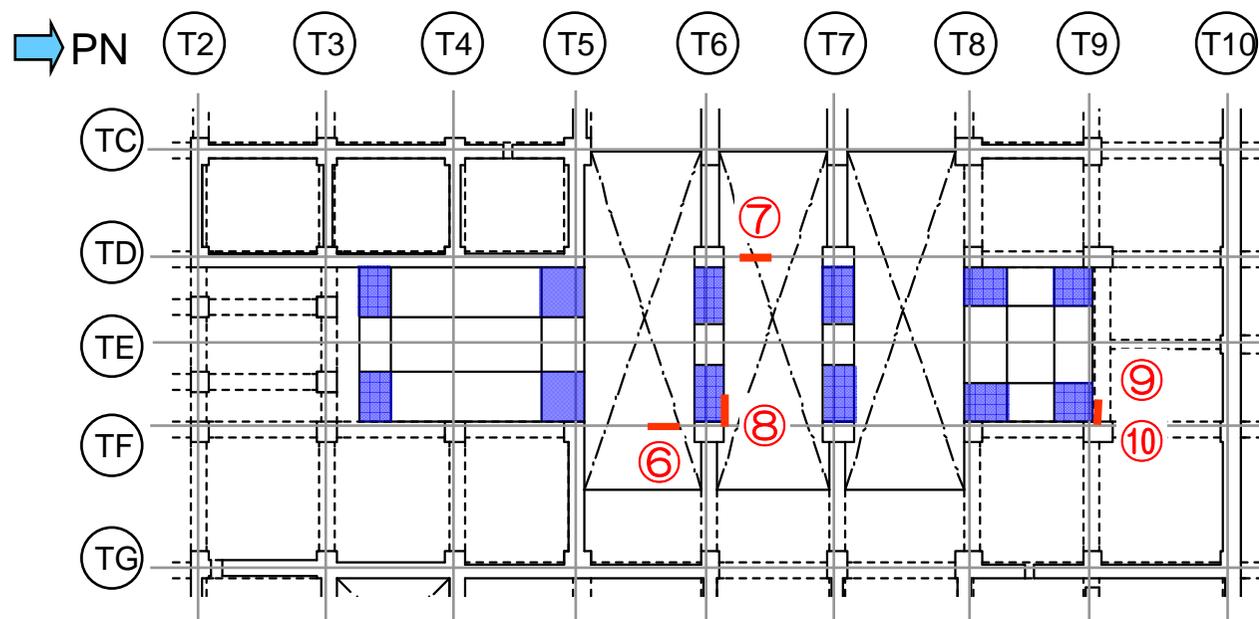
対策： 今後、補修を実施する。



【参考】ラーメン架構部の点検結果（剥離・剥落）（再掲）

■ ラーメン架構部剥落部調査結果

No.	発生部位	箇所数	剥落の大きさ 幅(m)×長さ(m)×最大深さ(mm)	地震影響
⑥	梁	1	0.3×1.35×30	有
⑦	梁	1	0.2×0.4×30	有
⑧	柱	1	0.3×0.03×10	無
⑨	柱	1	0.1×0.2×30	有
⑩	柱	1	0.35×0.85×65	有



点検により、確認された、剥落箇所は局部的であり、構造・強度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。

【参考】事例3：コンクリート剥落（その1）（再掲）

■ T6-TE~F間に確認した剥落

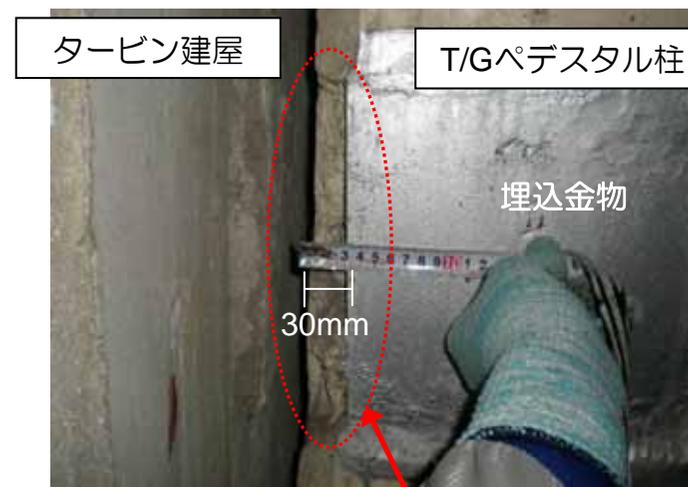
事象：T6-TE~F間のT/GペDESTAL柱コンクリートが一部剥落していることを確認した。

評価：以下2点より、本事象は地震による剥落ではないと評価する。

- ①剥落面に堆積した埃等から、剥落してから相当な時間が経過していると考えられ、地震前の事象であると推測されること。
- ② T/GペDESTAL柱コンクリートのコーナー付近（端部より30mm程度のところ）に埋込金物が設置されていた。乾燥収縮によるひび割れ等に起因し、剥落にまで至った事象と考えられること。

なお、剥落は表層部のみであったことから、構造・強度の健全性に影響を与えるものではない。

対策：モルタルによる補修を実施した。



補修前の状況

補修後の状況



【参考】事例4：コンクリート剥落（その2）（再掲）

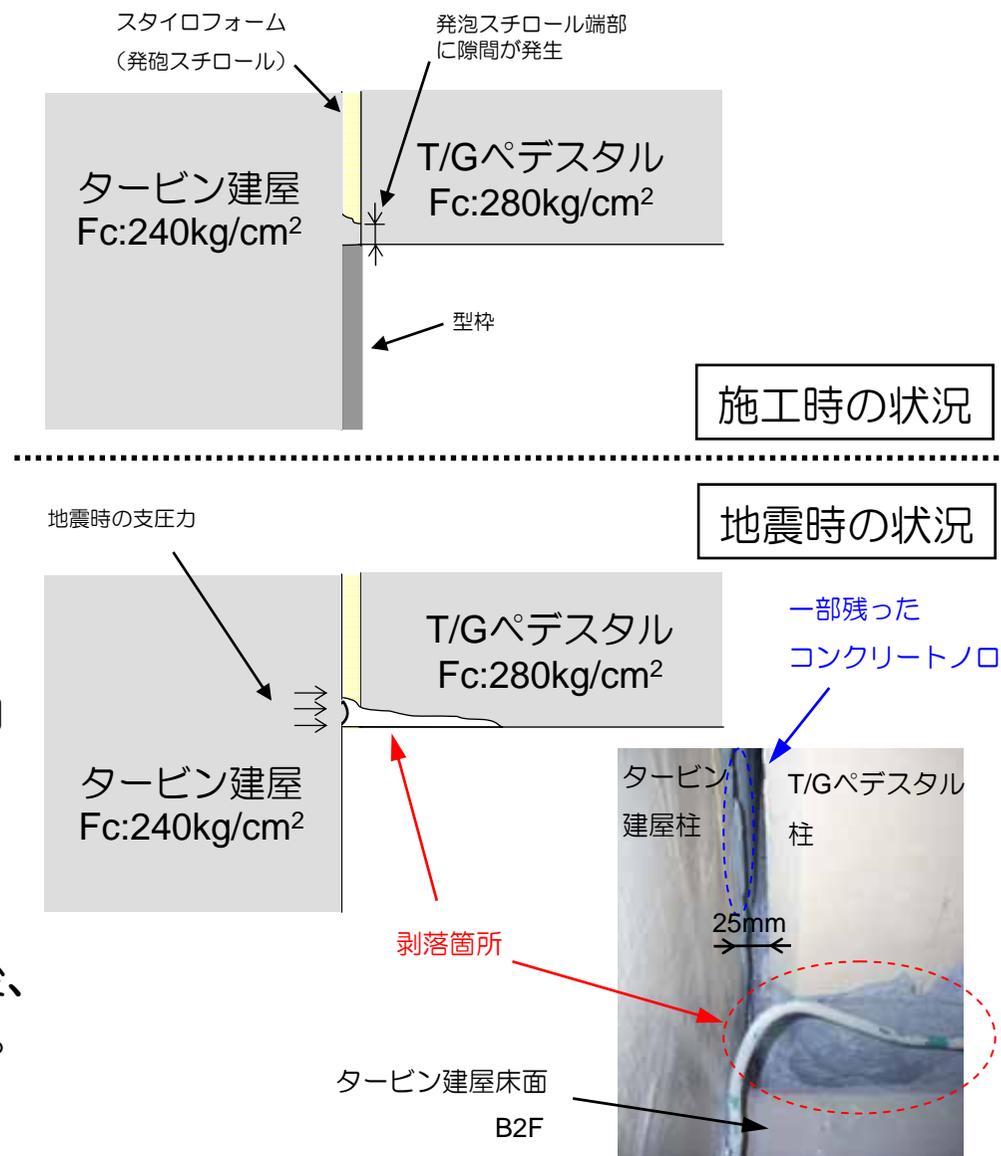
■ T9-TE~F間に確認した剥落

事象：T9-TE~F間のT/GペDESTAL柱
コンクリートが一部剥落している
ことを確認した。

評価：タービン建屋とT/GペDESTAL
の間に建設施工時のノロが回り
込み、地震発生時にそのノロを
介して、タービン建屋は圧縮と
して、T/GペDESTAL側はせん
断として荷重を受け、剥落に
至ったと推測される。

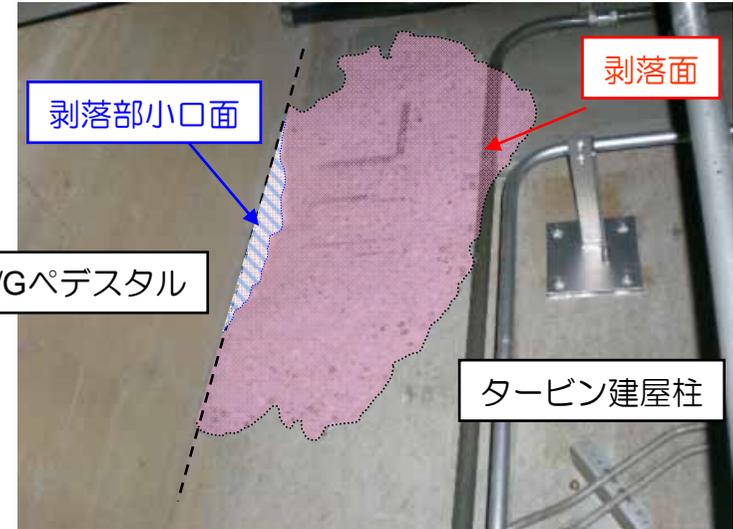
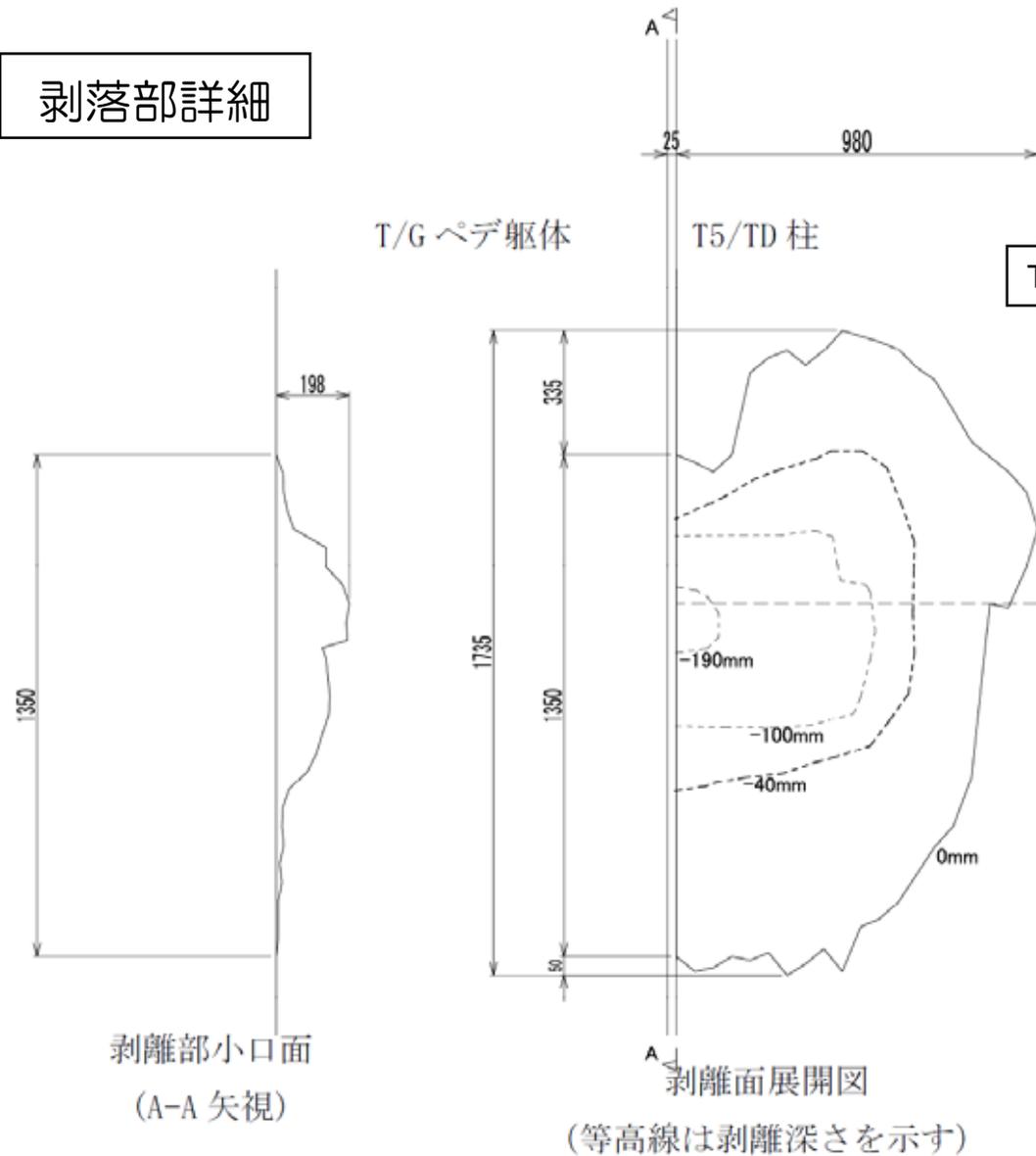
なお、剥落は表層部のかぶりコ
ンクリート部のみであったこと
から、構造・強度の健全性に影
響を与えるものではない。

対策：コンクリートノロを除去した後、
モルタルによる補修を実施する。



【参考】タービン建屋コンクリート剥落部詳細（再掲）

剥落部詳細



- 剥落部小口面（写真内青色部）のノコを介して支圧力の伝達が行われ、その結果剥落面のコンクリート破壊が発生したものと評価を実施

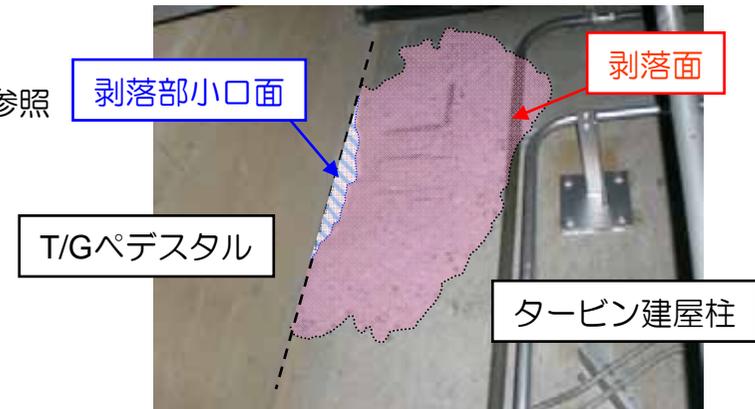
【参考】タービン建屋コンクリート剥落箇所の局所的影響評価（再掲）

■ 剥落荷重の評価*

* 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説」参照

◆ 剥落面積（最大剥落箇所）

- ・ 剥落部小口面積：約107,000mm²
- ・ 剥落面積：約1,237,000mm²



◆ タービン建屋コンクリートが剥落した場合にかかる短期許容最大支圧荷重

- ・ 短期許容応力度（せん断）：1.41N/mm²（実強度：450kg/cm²より算出）
- ・ 短期許容最大支圧荷重（せん断）：1.41 × 1,237,000 = 1745kN …… (1)

◆ T/GペDESTALコンクリートの短期許容最大支圧荷重

- ・ 短期許容応力度（圧縮）：18.2N/mm²（設計基準強度Fc：280kg/cm²より算出）
- ・ 短期許容最大支圧荷重（圧縮）：18.2 × 107,000 = 1947kN …… (2)



(1) < (2) より、T/GペDESTAL側が損傷せずにタービン建屋側の剥落が起きると評価