

東京電力福島第一原子力発電所事故 発電所敷地への津波の到達時刻について

東京電力株式会社

平成25年10月7日



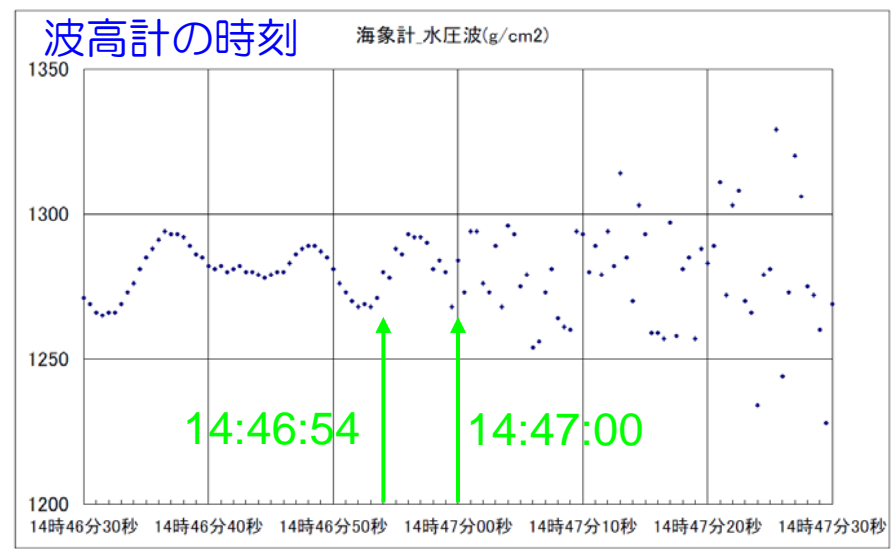
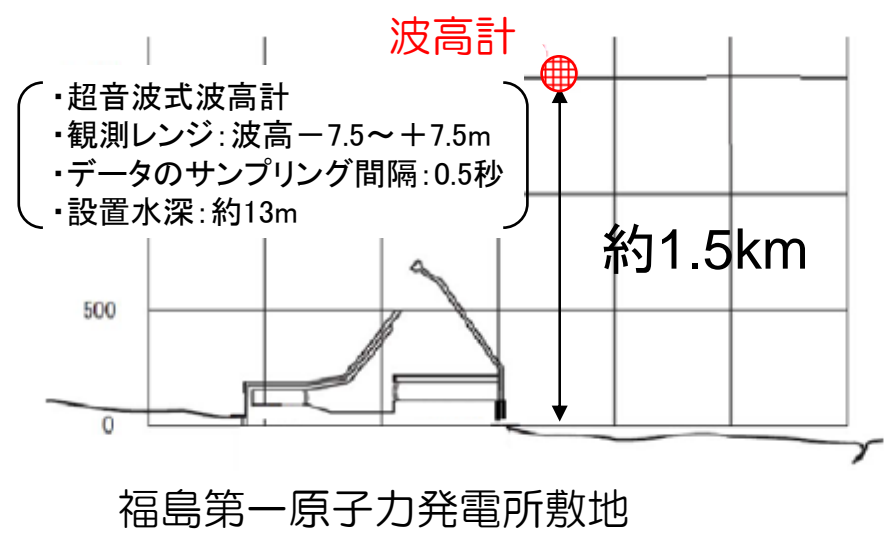
東京電力

1. 波高計記録および連続写真の分析
2. プラントデータの分析

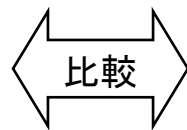
1. 波高計記録および連続写真の分析
2. プラントデータの分析

波高計の諸元および波高計内蔵時計のずれについて

各号機の地震計の初期微動と波高計で観測された水圧波（地震動で反応）を比較することにより、波高計内蔵時計のずれを検証する



各号機の地震計の初期微動の観測時間
14時46分48秒～14時46分52秒

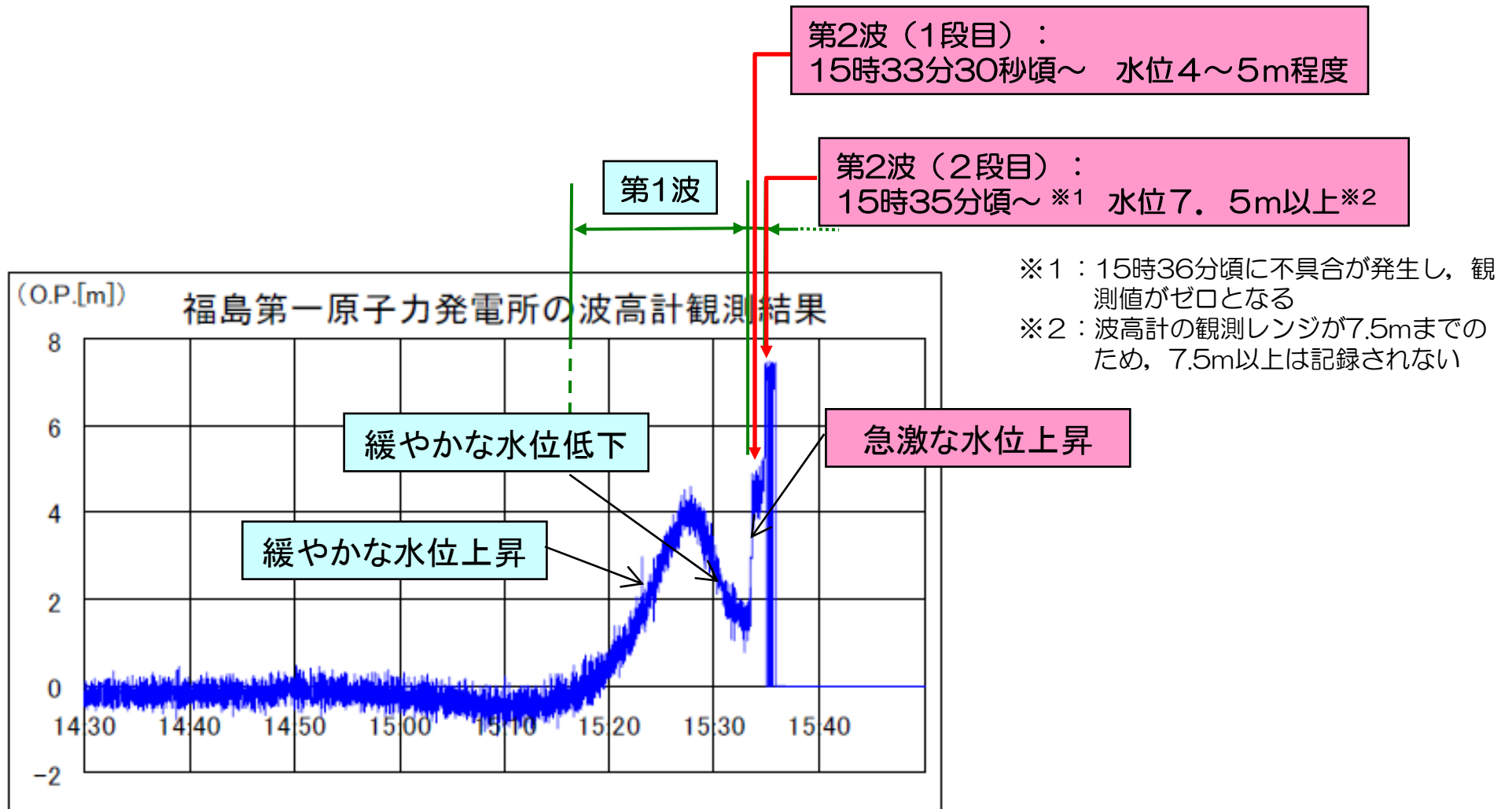


地震動の影響による乱れ
14時46分54秒～14時47分0秒

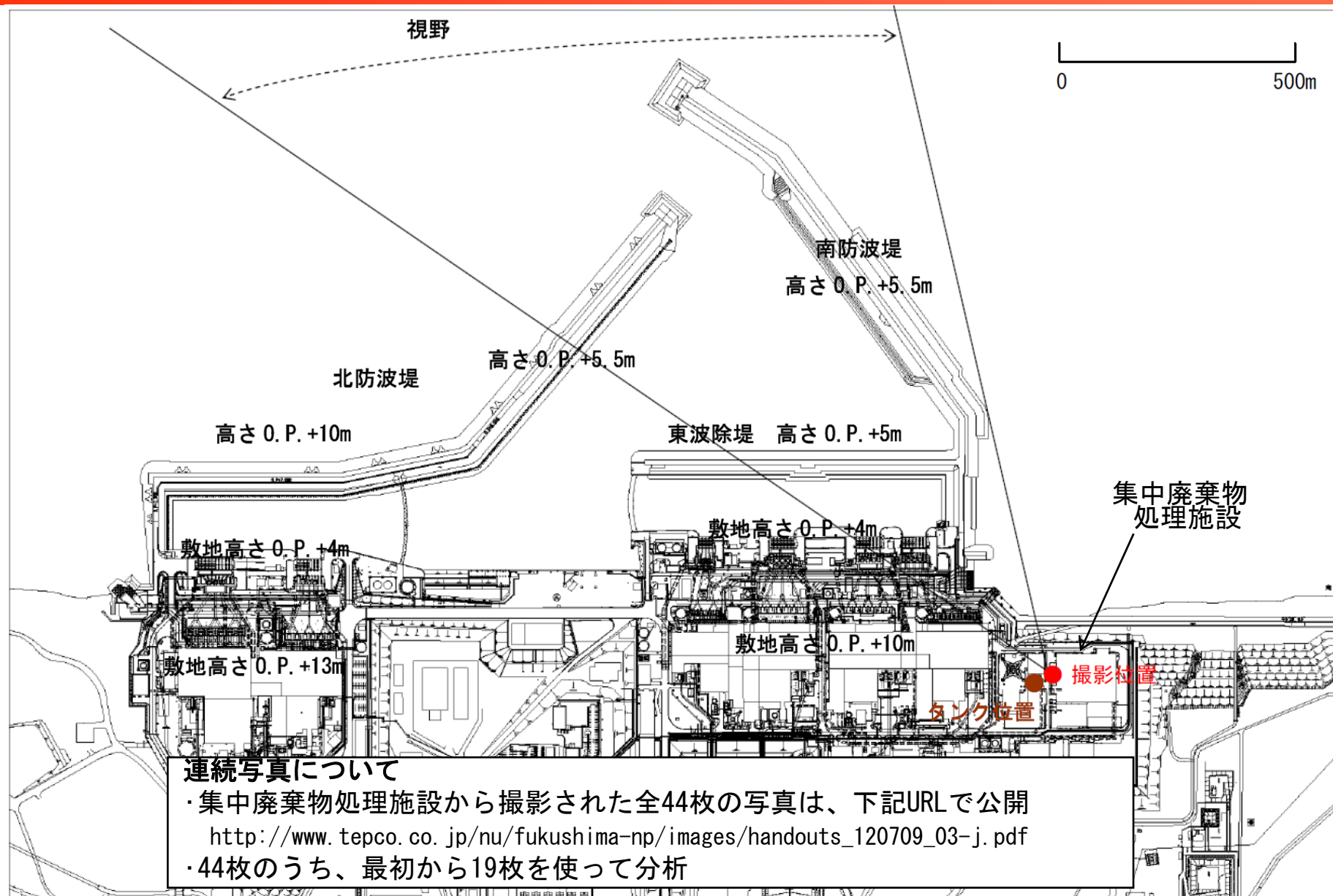
地震計は毎時時刻校正がされており正確と考えられるため、これを基準にすると、波高計の内蔵時刻は大きなずれがないと考えられる。

波高計による観測記録

波高計で観測された記録に基づき、福島第一原子力発電所に来襲した津波の波形を分析する

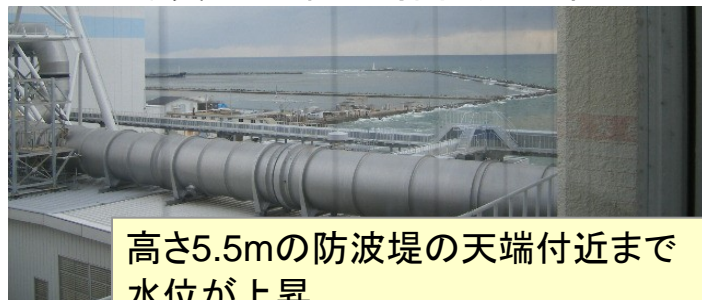


連続写真の撮影位置



第1波の認定

写真1 : 経過時間0分00秒



高さ5.5mの防波堤の天端付近まで
水位が上昇

写真2 : 経過時間0分34秒



写真3 : 経過時間1分02秒



写真4 : 経過時間1分26秒



写真5 : 経過時間5分00秒



写真1～5では、緩やかな水位低下が確認されることから、第1波による水位低下と判断される。

緩やかな水位低下
||
第1波

緩やかな水位低下
||
第1波

第2波（1 段目）の認定

写真6 : 経過時間5分12秒



写真7 : 経過時間6分08秒



写真8 : 経過時間6分20秒



写真9 : 経過時間6分36秒

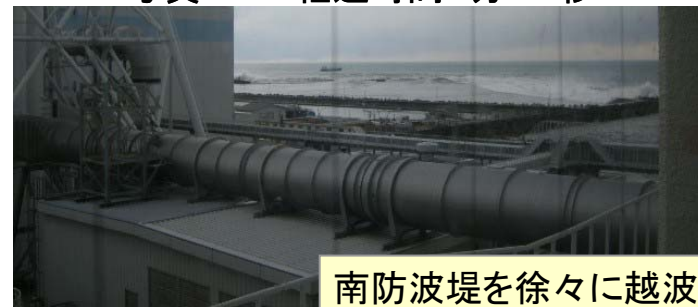
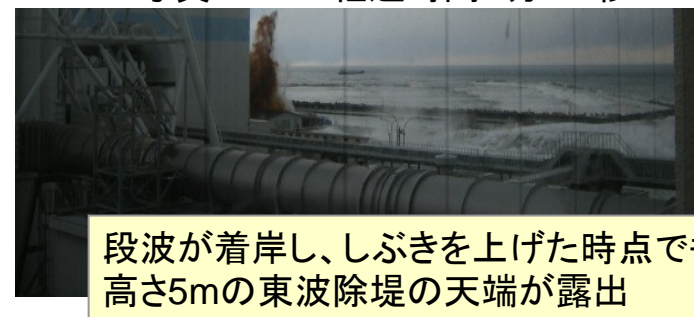


写真10 : 経過時間6分42秒



写真11 : 経過時間7分04秒



第2波（1 段目）

写真8～11の段波は、第2波（1 段目）と判断される。

第2波（1 段階目）の10m盤への遡上の確認

写真12 : 経過時間7分08秒

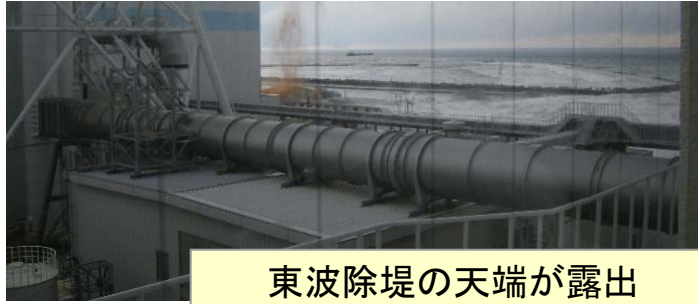


写真13 : 経過時間7分24秒



写真14 : 経過時間7分30秒



写真8～11で認定した第2波（1 段階目）が、10m盤まで遡上したことが確認できる。

ただし、この時点では東波除堤の天端は露出しており、10m超（波高計記録では7.5m以上）の第2波（2 段階目）はまだ到達していない。

第2波（2段目）の認定

写真15：経過時間7分42秒



さらに大きな段波が東波除堤を越流し始める

写真16：経過時間7分56秒



防波堤・東波除堤を覆う段波が到達

写真15・16で確認された段波は第2波（2段目）と判断される。

写真17：経過時間8分10秒



写真18：経過時間8分20秒

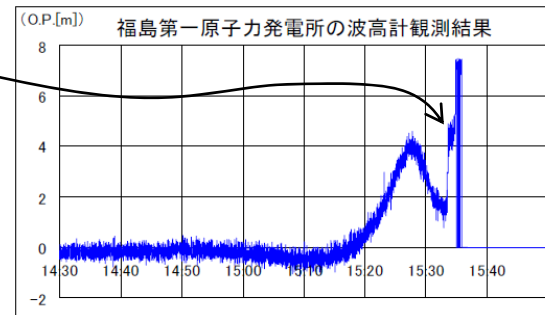
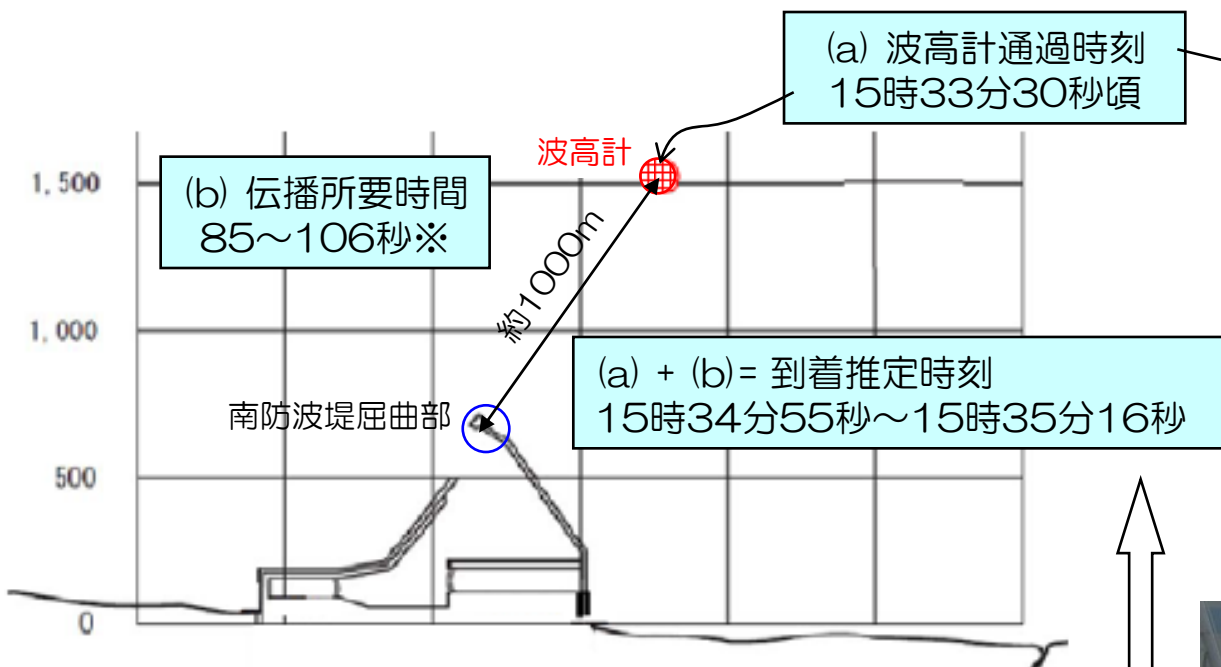


10m盤タンク周辺に大規模に浸水

第2波（1段目）は、東波除堤を越えなかったのに対し、第2波（2段目）は、北防波堤、南防波堤および東波除堤を大きく越えたことから、第2波（2段目）は、敷地全体に大きな時間差なく到達したものと考えられる。

写真撮影時刻の分析

津波の第2波（1段目）の段波が南防波堤屈曲部に到達した時刻を分析し、写真8の撮影時刻（内蔵時計）と比較することにより、正しい撮影時刻を推定した。



カメラの内蔵時計は、6分20秒～6分41秒程度進んでいたものと推定される。

中間値の6分30秒進んでいたと仮定して補正する



時刻補正後の写真について

15時35分06秒頃（補正後）
第2波（1段目）が南防波堤屈曲部に到達



15時35分50秒頃（補正後）
第2波（1段目）が着岸



15時36分10秒頃（補正後）
第2波（1段目）が10m盤に遡上



15時36分42秒頃（補正後）
第2波（2段目）が東波除堤を越流



15時36分56秒頃（補正後）
第2波（2段目）が10m盤タンク周辺に大規模に浸水



15時37分24秒頃（補正後）
第2波（2段目）の浸水により、
10m盤タンクが水没



まとめ（波高計および連続写真の分析）

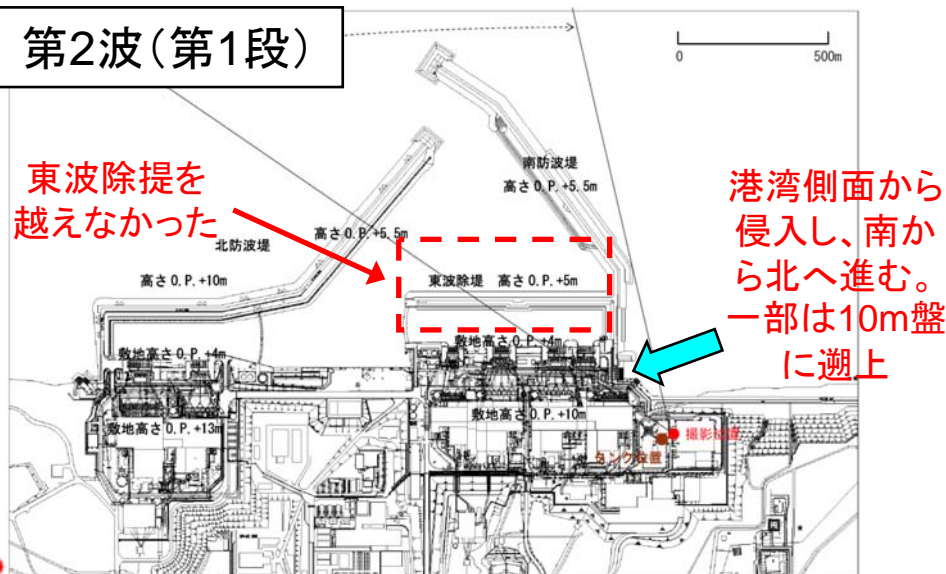
1. 発電所の各機器に影響を与えた津波の到達は15時36分台

- ✓第2波（1段目）は、15時35分50秒頃に着岸し、15時36分10秒頃に10m盤に遡上したが、東波除堤を越えなかった。
- ✓第2波（2段目）は、東波除堤を大きく越えた後に、15時36分後半に10m盤に遡上し、15時37分前半には10m盤のタンクを水没させた。

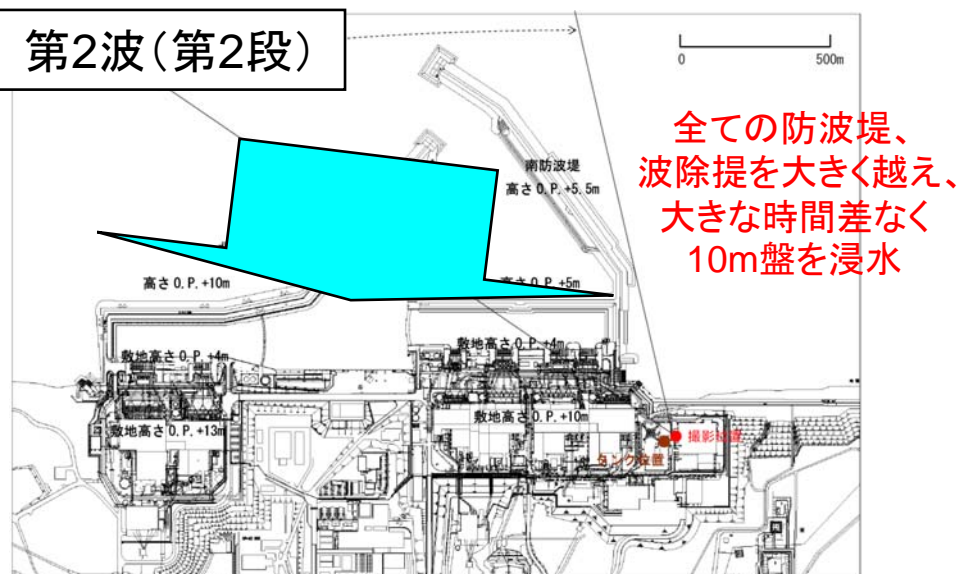
2. 津波の最大波（第2波（2段目））は、敷地全体に大きな時間差なく到達

- ✓第2波（1段目）は、東波除堤を越えなかったのに対し、第2波（2段目）は、北防波堤、南防波堤および東波除堤を大きく越えた。

第2波（第1段）



第2波（第2段）

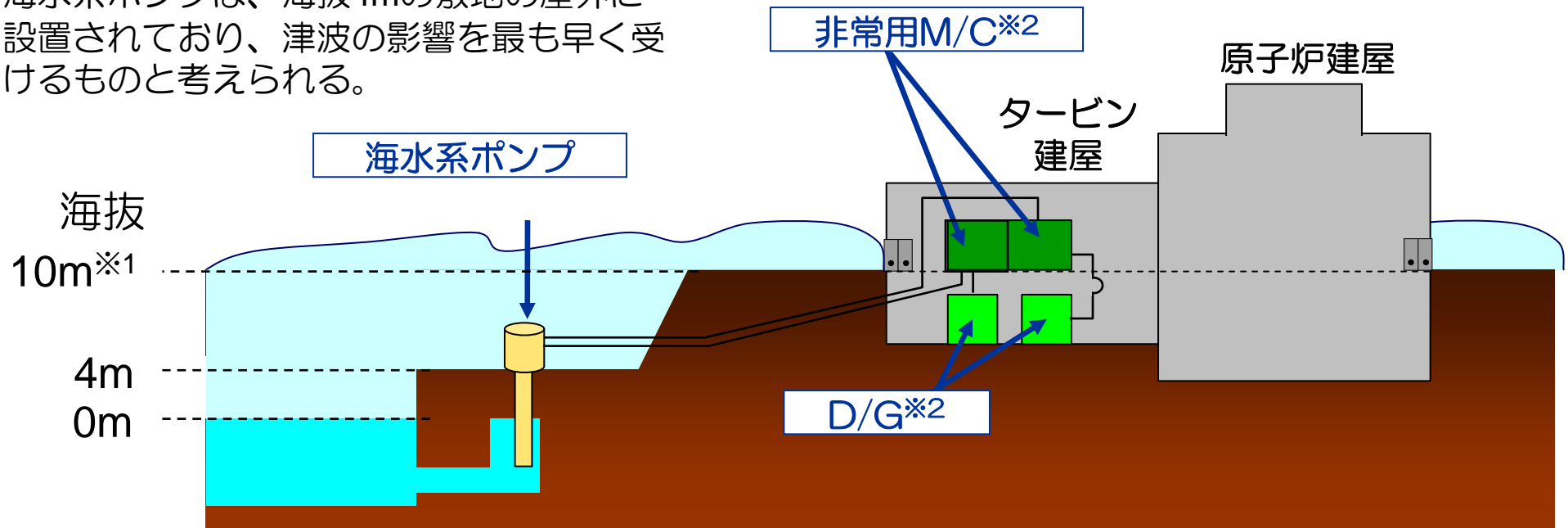


1. 波高計記録および連続写真の分析
2. プラントデータの分析

プラントデータを活用した津波到達時刻分析の方法について

津波の影響で機能喪失した海水系ポンプ、非常用M/C、D/Gが機能喪失した時刻をプラントデータにより分析する。

海水系ポンプは、海拔4mの敷地の屋外に設置されており、津波の影響を最も早く受けるものと考えられる。



- ※1 5・6号機の建屋が設置されている敷地の高さは海拔13m
- ※2 非常用M/CおよびD/Gの設置場所は号機により異なる
(上記図は1号機の例)

検討に用いたデータについて

事故時の全プラントデータを以下の観点で、スクリーニング

- ・時刻校正機能があること
- ・分析に活用可能な電子データが収録されていること
- ・津波来襲の時刻近辺のデータが収録されていること

電子データが活用可能な過渡現象記録装置およびプロセス計算機の時刻校正機能およびデータ収録状況は下表の通り。

号機	過渡現象記録装置	プロセス計算機
1	2号機のプロセス計算機により校正	15時以降データなし
2	2号機のプロセス計算機により校正	時報により校正
3	14:59頃から約30分の欠測があり、時刻の補正に難あり	運転中の時刻校正機能なし
4	停止中	停止中
5	試験中のため津波到達時のデータなし (5号機のプロセス計算機により校正)	時報により校正
6	停止中	運転中の時刻校正機能なし

1号機および2号機の過渡現象記録装置、2号機および5号機のプロセス計算機（上記表の赤塗り部）のデータを用いる。

海水系ポンプに関するデータの収録状況について

1号機および2号機の過渡現象記録装置、2号機および5号機のプロセス計算機に収録されている海水系ポンプのデータは下表の通り

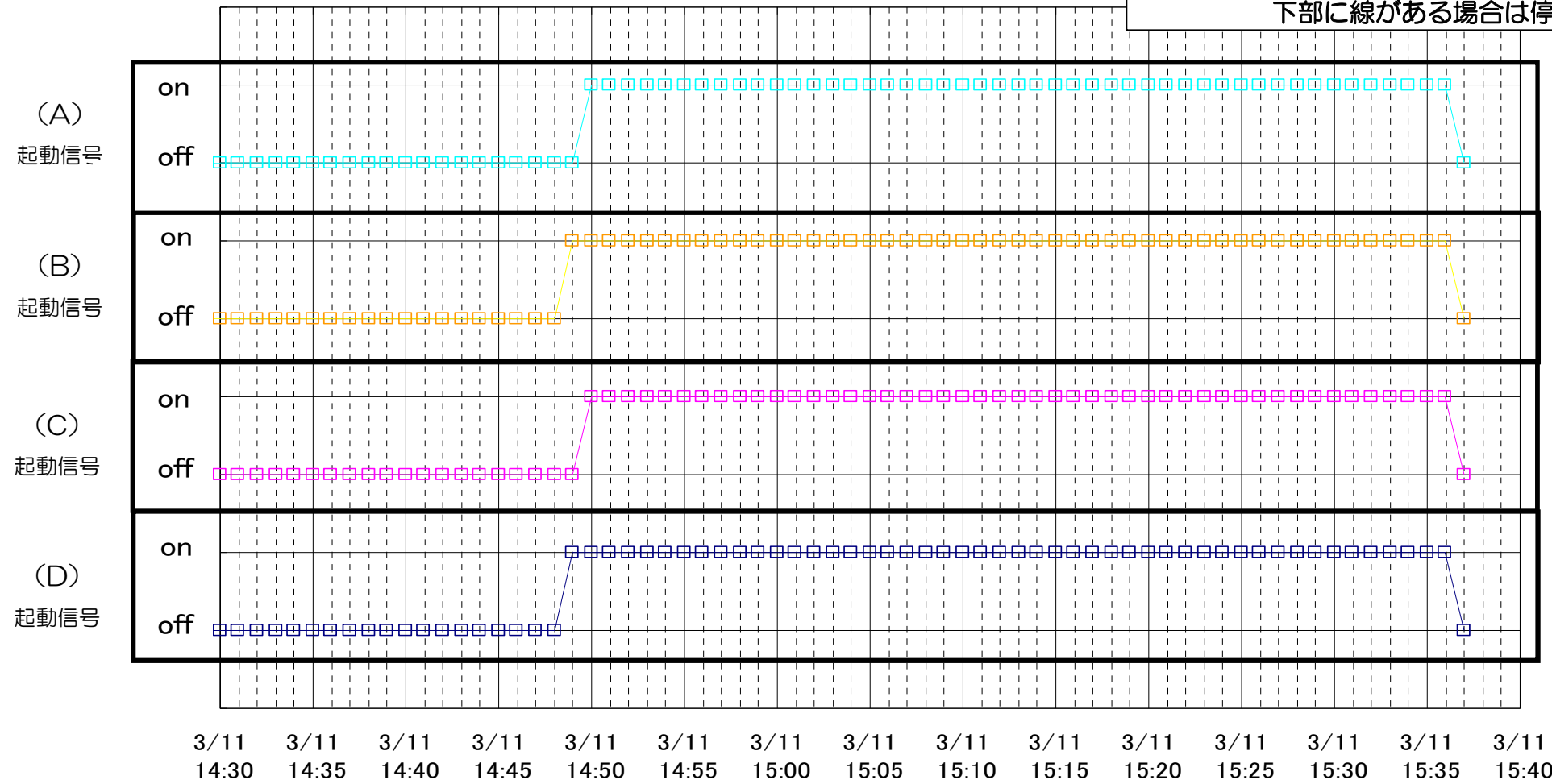
1号機		
過渡現象記録装置	補機冷却海水系（ASW）ポンプ停止	外部電源喪失後、ASWポンプ起動なし。
	格納容器冷却海水系（CCSW）ポンプ起動	D/G起動後に自動起動
2号機		
過渡現象記録装置	残留熱除去海水系（RHSW）ポンプ遮断器	残留熱除去系（RHR）(A)のサプレッションプール冷却のため、RHSWポンプ(A)および(C)を手動起動
プロセス計算機	循環水（CW）ポンプトリップ	外部電源喪失後、循環水ポンプ起動なし。
5号機（定検中）		
プロセス計算機	残留熱除去海水系（RHRS）ポンプ遮断器	RHR(B)のSHCモードにより運転

海水系ポンプについては、1号機CCSWポンプ、2号機RHSWポンプ、5号機RHRSポンプ（上記表の赤塗り部分）のデータが利用可能

注記）海水系のポンプは、交流駆動のため外部電源喪失時に停止する。停止した海水系ポンプのうち、D/Gが起動した後自動起動するか、または運転員により必要に応じて起動され、津波到達前に運転していたポンプは、津波により被水等の影響を受け機能喪失したものと考えられる。

海水系ポンプの運転データ例（1号機 CCSWポンプ起動信号）

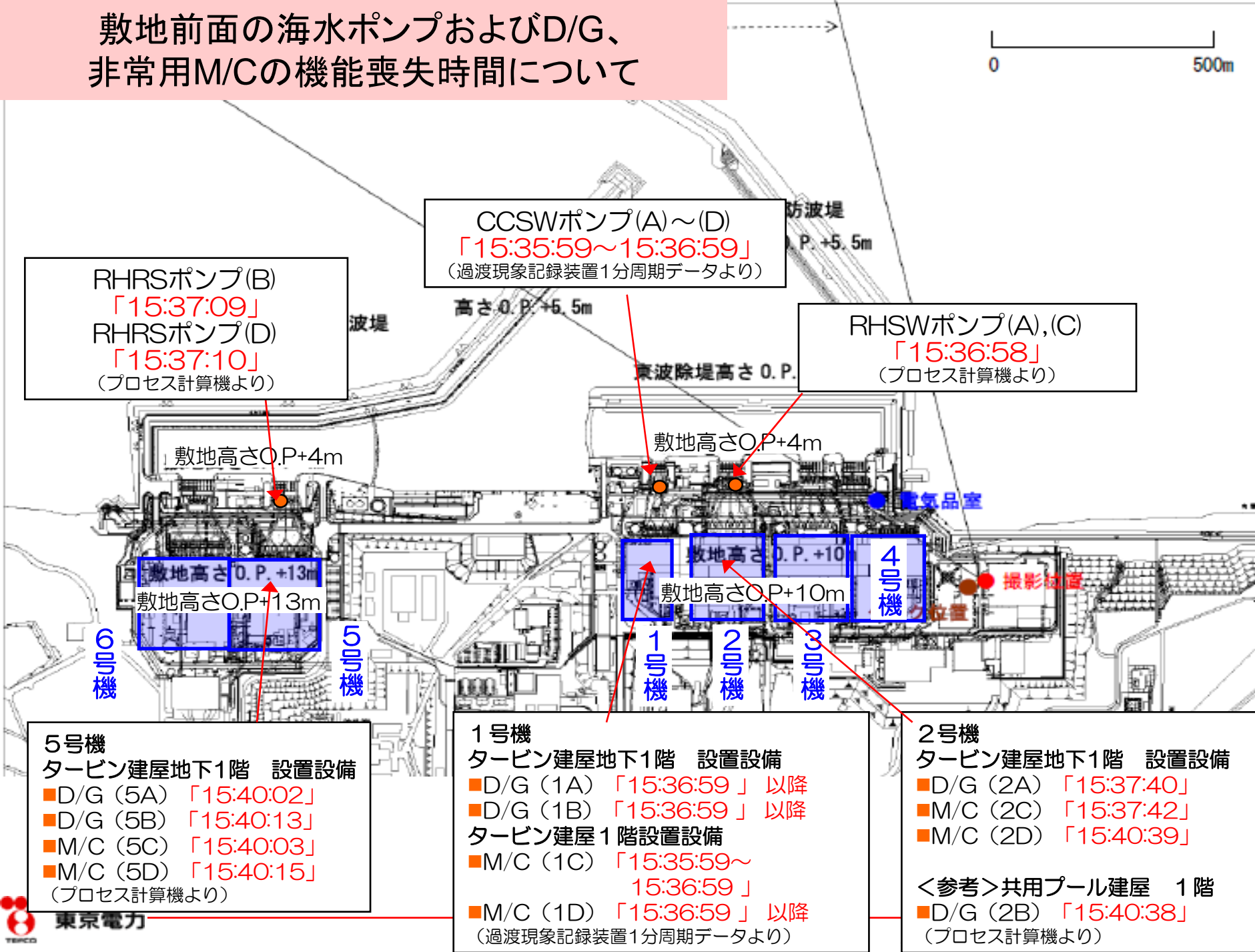
表の見方：上部に線がある場合は起動
下部に線がある場合は停止



[注記]データは毎分59秒の値が記録されている。
見やすさの観点でデータ間に補助線を引いている。

CCSWポンプが全て停止しており、津波が敷地内に到達した時刻は
15時35分59秒～36分59秒と考えられる。

敷地前面の海水ポンプおよびD/G、 非常用M/Cの機能喪失時間について



まとめ（全体）

- ✓海水系のポンプは、概ね15:36台に機能喪失しており、波高計および連続写真の分析から導き出される以下の結論と整合している

波高計および連続写真の分析からの結論

1. 発電所の各機器に影響を与えた津波の到達時刻は、15時36分台
2. 津波の最大波は、敷地全体に大きな時間差なく到達

電源喪失の原因について

- ・非常用電源機器が機能喪失した時刻に、余震は発生していない
- ・多くの機器が短時間に集中して機能喪失している
- ・津波が到達した後に、非常用電源機器が機能喪失している

津波が原因で電源喪失に至ったと考えられる。

参考資料

波高計記録および連続写真の分析



東京電力

(参考1) 伝播所要時間の推定 (1 / 2)

第2波（1段目）の波高計から南防波堤までの伝播所要時間を、以下のa及びbの二通りの手順で推定した。

a. 静水深に基づく推定波速から算出した所要時間

所要時間を長めに評価する観点から、水深に津波高さを考慮せず、静水深 h を用い、以下の方法にて所要時間の推定を行う。

- 波高計設置位置から南防波堤屈曲部までの距離約1,000mを50mずつ20区間に分割する。
- 波高計設置位置の水深は約13m、南防波堤屈曲部の水深は約6mであり、この間の海底勾配は一定であると仮定する。
- 津波波速の近似式 $c=(gh)^{1/2}$ に、区間ごとの平均水深を適用して波速を算定する。
- 津波が各区間を通過する所要時間を算定する。
- 次ページの表による算定の結果、波高計設置位置から南防波堤屈曲部までの所要時間は約106秒と推定された。

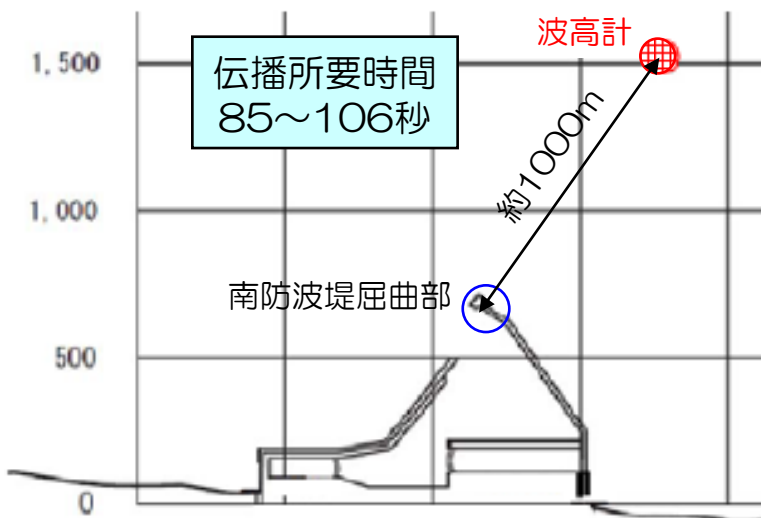
b. 全水深に基づく推定波速から算出した所要時間

より実際に近い評価を行うため、水深に津波高さを加算した全水深（＝静水深＋津波高さ）を用いる。

- グリーンの法則： $H_2/H_1 = (h_1/h_2)^{1/4}$ を適用して、各区間での津波高さ H_2 を算定する。
- 波高 H_1 の初期値は、波高計設置位置の第2波（第1段）の波高計記録から4.5mとする。
- h_1 の初期値は、波高計設置位置の水深約13m。
- 水深に津波高さを加算した全水深（＝静水深＋津波高さ）を用い、a.と同様の方法にて所要時間の推定を行う。
- 次ページの表による算定の結果、波高計設置位置から南防波堤屈曲部までの所要時間は約85秒と推定された。

以上のことから、波高計設置位置から港湾付近までの所要時間を85～106秒と推定した。

(参考1) 伝播所要時間の推定 (2/2)



波高計からの 距離 [m]	a. 静水深に基づく検討			b. 全水深に基づく検討			
	区間平均 水深 [m]	静水深を用 いた近似式 から求まる 波速 [m/s]	区間ごとの 所要時間 [s]	グリーンの 法則から求 まる波高 [m]	区間平均 水深 [m]	全水深を用 いた近似式 から求まる 波速 [m/s]	区間ごとの 所要時間 [s]
0～50	12.8	11.2	4.5	4.5	17.3	13.0	3.8
50～100	12.5	11.1	4.5	4.5	17.0	12.9	3.9
100～150	12.1	10.9	4.6	4.6	16.7	12.8	3.9
150～200	11.8	10.7	4.7	4.6	16.4	12.7	3.9
200～250	11.4	10.6	4.7	4.6	16.1	12.6	4.0
250～300	11.1	10.4	4.8	4.7	15.8	12.4	4.0
300～350	10.7	10.3	4.9	4.7	15.4	12.3	4.1
350～400	10.4	10.1	5.0	4.8	15.1	12.2	4.1
400～450	10.0	9.9	5.0	4.8	14.8	12.1	4.1
450～500	9.7	9.7	5.1	4.8	14.5	11.9	4.2
500～550	9.3	9.6	5.2	4.9	14.2	11.8	4.2
550～600	9.0	9.4	5.3	4.9	13.9	11.7	4.3
600～650	8.6	9.2	5.4	5.0	13.6	11.5	4.3
650～700	8.3	9.0	5.6	5.0	13.3	11.4	4.4
700～750	7.9	8.8	5.7	5.1	13.0	11.3	4.4
750～800	7.6	8.6	5.8	5.2	12.7	11.2	4.5
800～850	7.2	8.4	5.9	5.2	12.4	11.0	4.5
850～900	6.9	8.2	6.1	5.3	12.2	10.9	4.6
900～950	6.5	8.0	6.3	5.3	11.9	10.8	4.6
950～1000	6.2	7.8	6.4	5.4	11.6	10.7	4.7
所要時間の合計[s]			105.5	所要時間の合計[s]			
				84.6			

通常、波高は全振幅のことを指すが、本資料では、O.P.±0からの上昇量を波高と表記した。

(参考2) 連続写真 (1 / 3)

1 (00分00秒後)

15時28分46秒頃(補正後時刻)

15時35分16秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



2 (00分34秒後)

15時29分20秒頃(補正後時刻)

15時35分50秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



3 (01分02秒後)

15時29分48秒頃(補正後時刻)

15時36分18秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



4 (01分26秒後)

15時30分12秒頃(補正後時刻)

15時36分42秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



5 (05分00秒後)

15時33分46秒頃(補正後時刻)

15時40分16秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



6 (05分12秒後)

15時33分58秒頃(補正後時刻)

15時40分28秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



7 (06分08秒後)

15時34分54秒頃(補正後時刻)

15時41分24秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



8 (06分20秒後)

15時35分06秒頃(補正後時刻)

15時41分36秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



9 (06分36秒後)

15時35分22秒頃(補正後時刻)

15時41分52秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



(参考2) 連続写真 (2 / 3)

10(06分42秒後)

15時35分28秒頃(補正後時刻)

15時41分58秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



11(07分04秒後)

15時35分50秒頃(補正後時刻)

15時42分20秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



12(07分08秒後)

15時35分54秒頃(補正後時刻)

15時42分24秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



13(07分24秒後)

15時36分10秒頃(補正後時刻)

15時42分40秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



14(07分30秒後)

15時36分16秒頃(補正後時刻)

15時42分46秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



(参考2) 連続写真 (3 / 3)

15(07分42秒後)

15時36分28秒頃(補正後時刻)

15時42分58秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



16(07分56秒後)

15時36分42秒頃(補正後時刻)

15時43分12秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



17(08分10秒後)

15時36分56秒頃(補正後時刻)

15時43分26秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



18(08分20秒後)

15時37分06秒頃(補正後時刻)

15時43分36秒(補正前のカメラ内蔵時刻)



19(08分38秒後)

15時37分24秒頃(補正後時刻)

15時43分54秒(補正前のカメラ内蔵時刻)

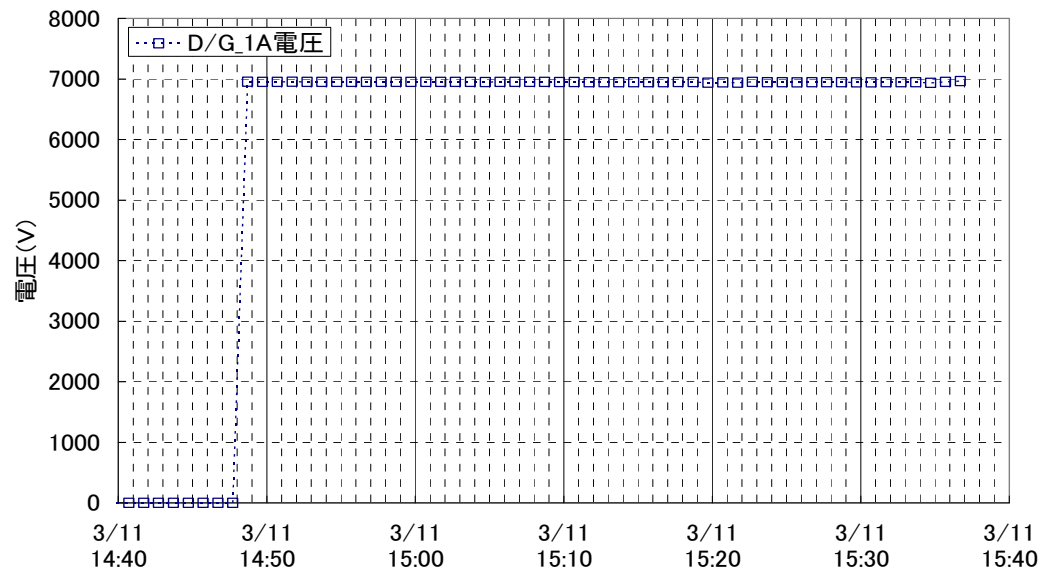


参考資料

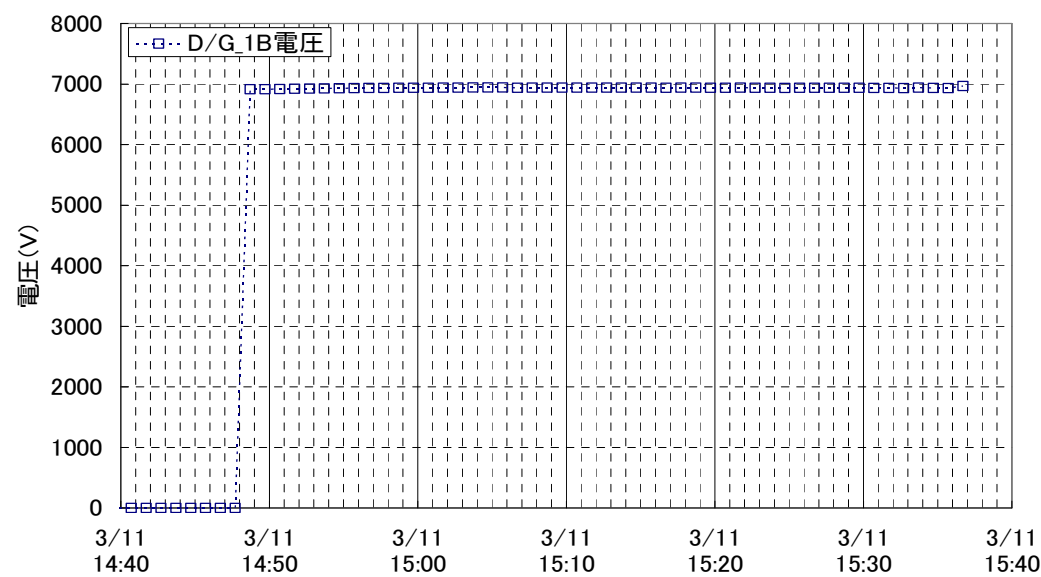
(プラントデータの分析)

福島第一1号機 D/G電圧

過渡現象記録装置
(1分周期データ)



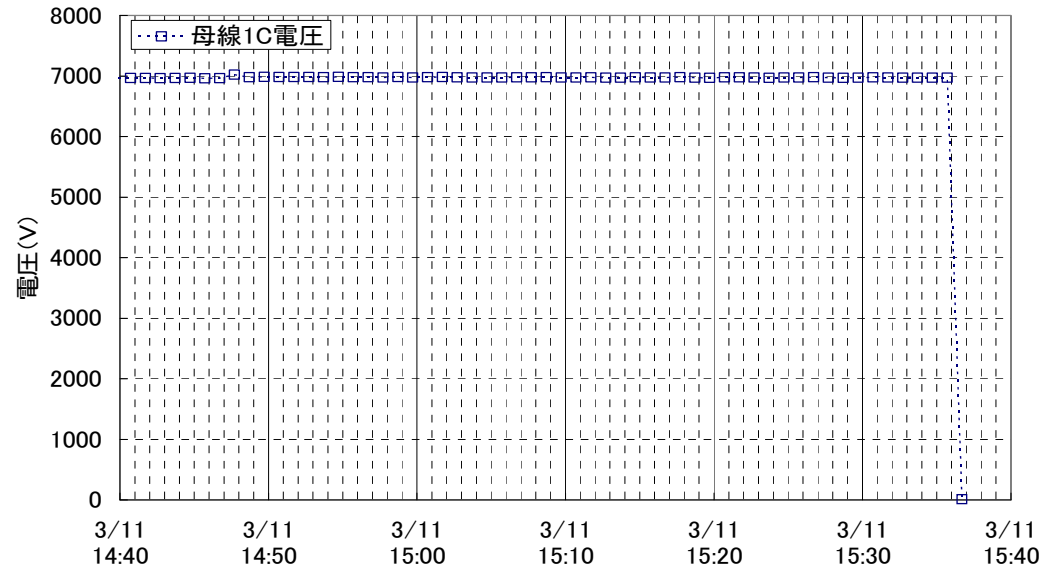
15:36:59まで
電圧確立



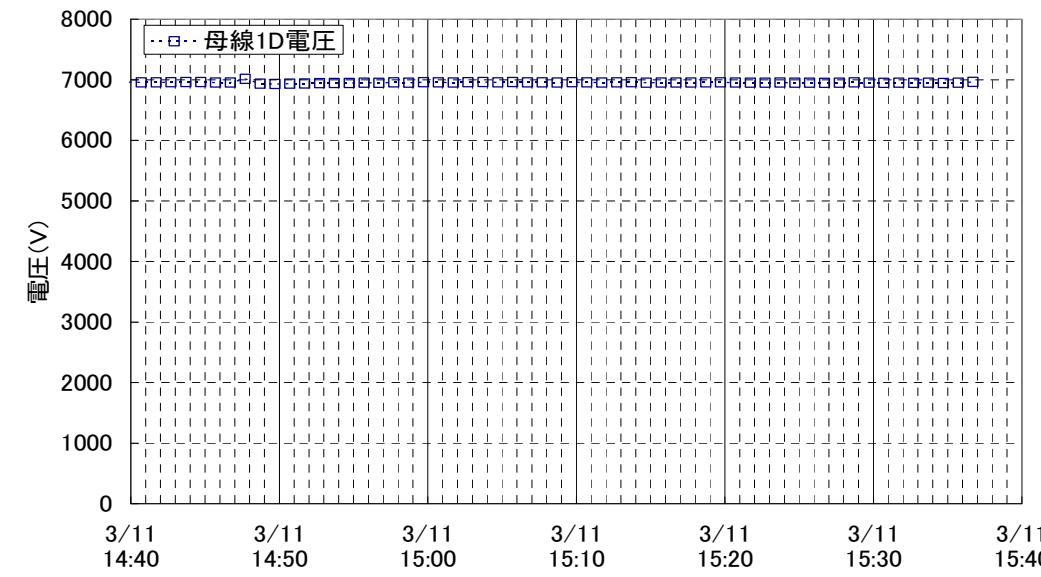
15:36:59まで
電圧確立

福島第一1号機 非常用M/C電圧

過渡現象記録装置
(1分周期データ)



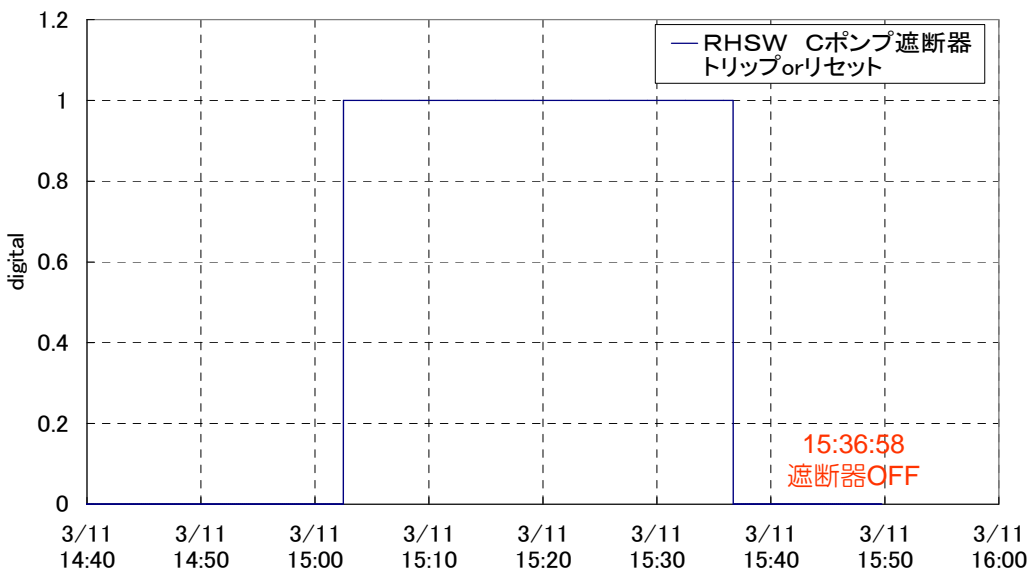
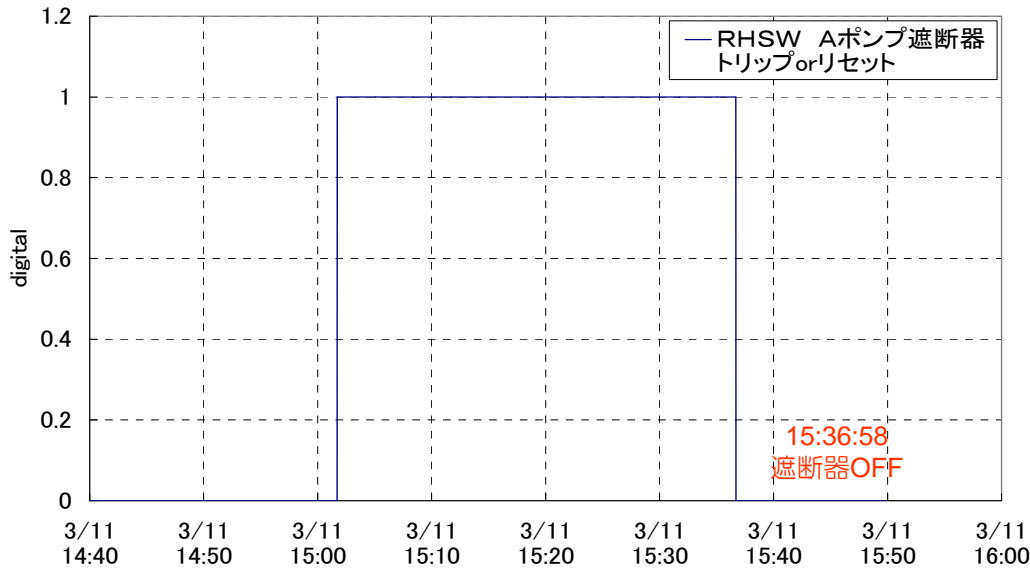
15:35:59~15:36:59
電圧ゼロ



15:36:59まで
電圧確立

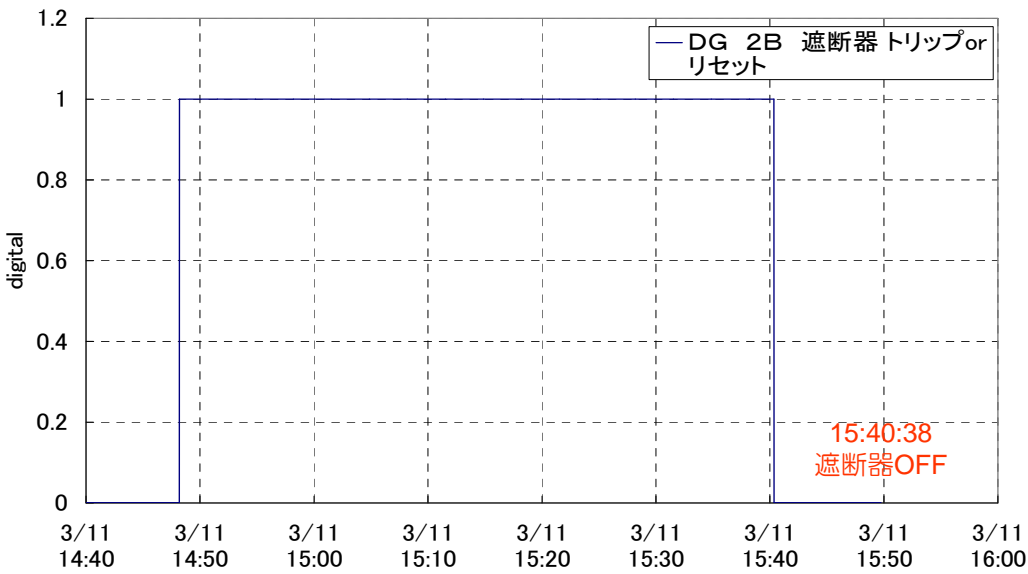
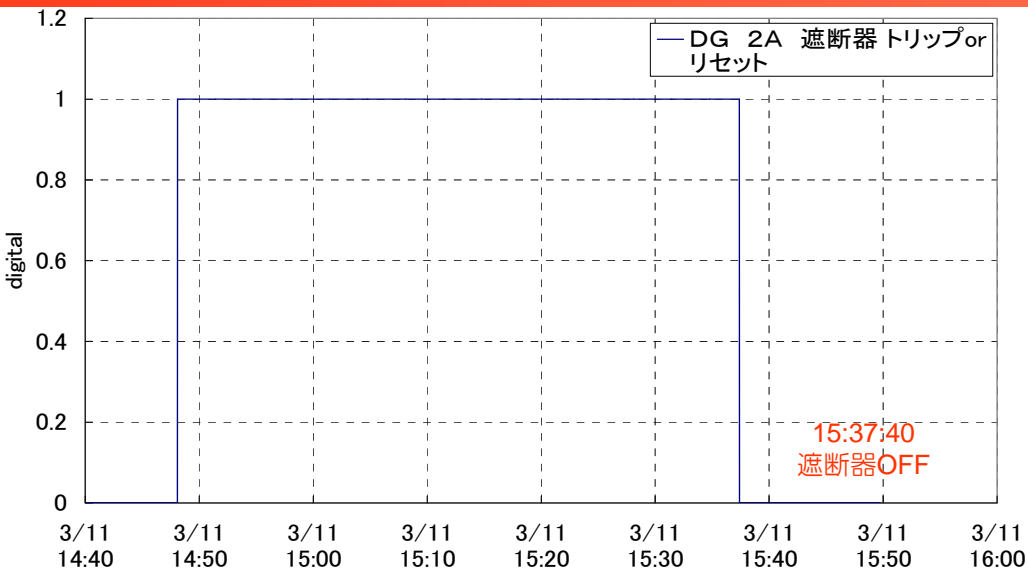
福島第一2号機 RHSVポンプ遮断器

プロセス計算機



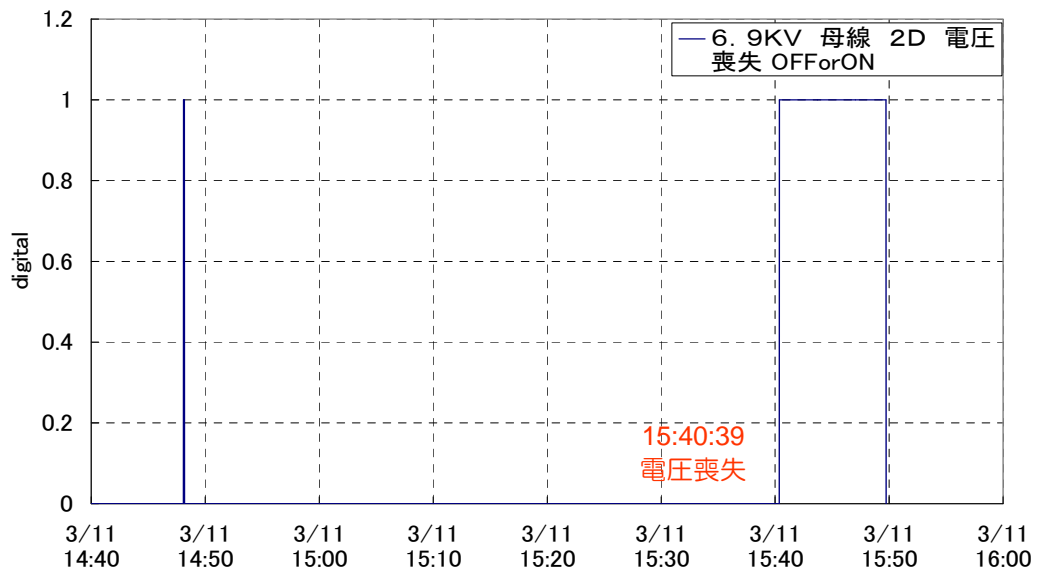
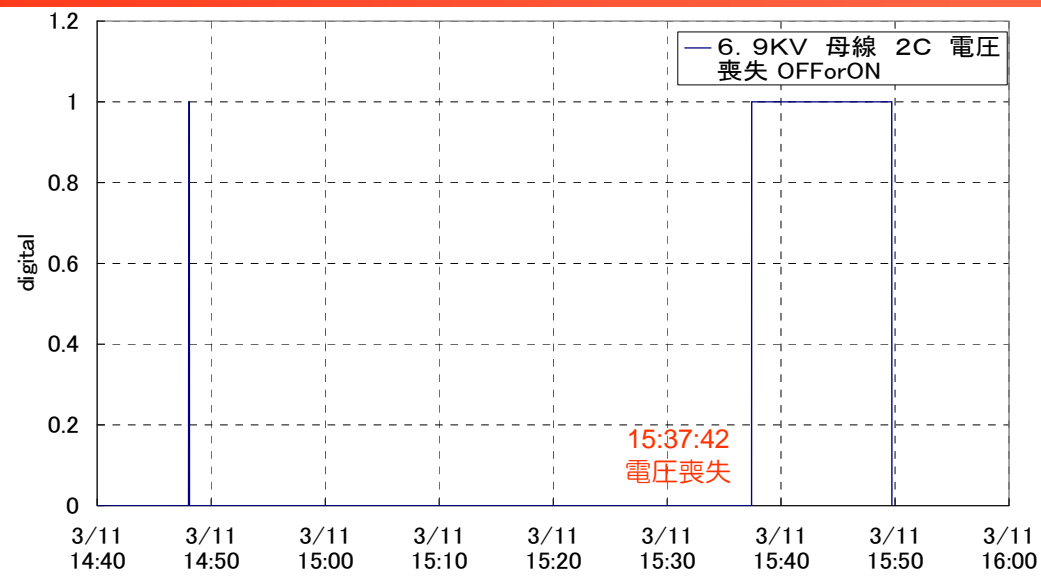
福島第一2号機 D/G遮断器

プロセス計算機



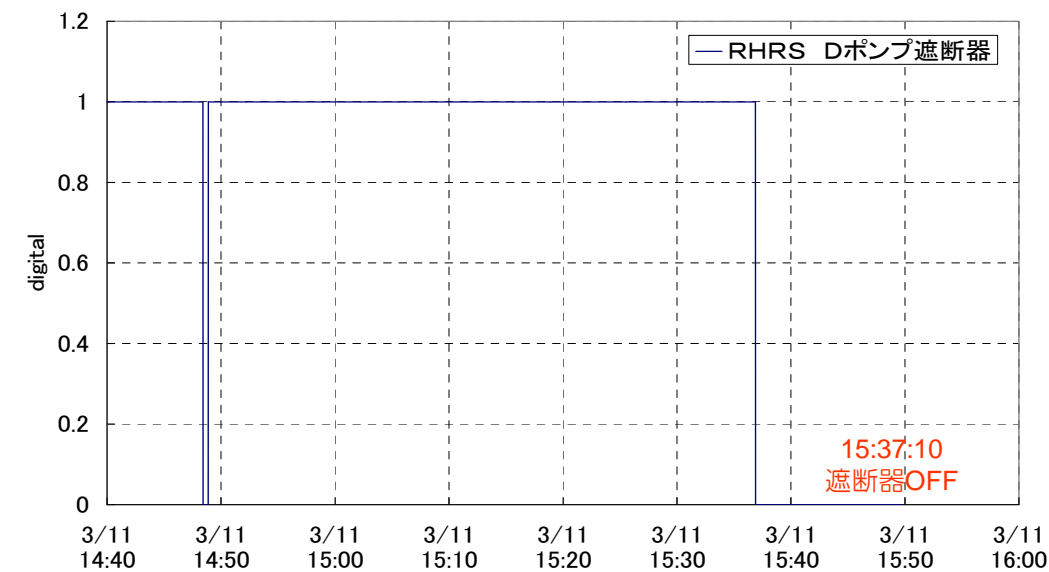
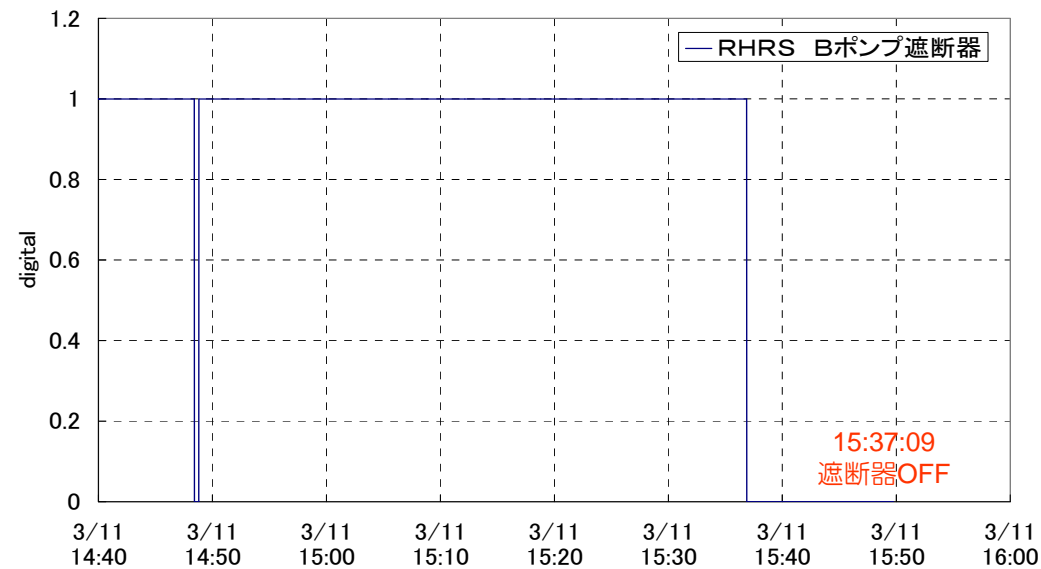
福島第一2号機 非常用M/C電圧喪失

プロセス計算機



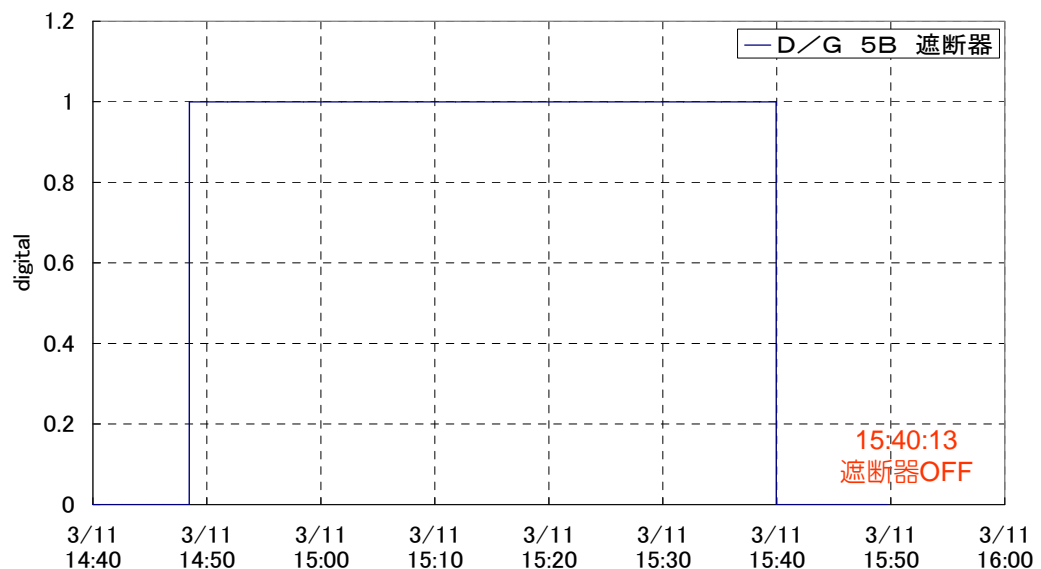
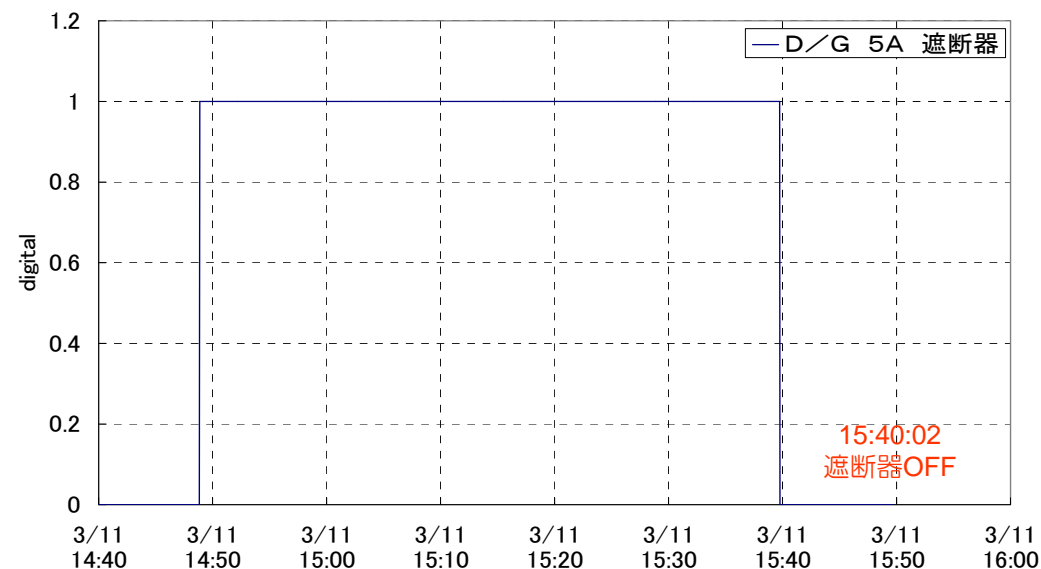
福島第一5号機 RHRSポンプ遮断器

プロセス計算機



福島第一5号機 非常用D/G遮断器

プロセス計算機



福島第一5号機 非常用M/C電圧喪失

プロセス計算機

