

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-2-12 改4
提出年月日	平成29年8月21日

東海第二発電所

津波による損傷の防止

(安全審査関連 補足説明資料)

平成29年8月

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第5条：津波による損傷の防止

目 次

- 1 有効応力解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認について
- 2 (旧) レーザー濃縮技術研究組合の許認可上の位置付け及び管理状況につ
いて
- 3 余震の規模の設定のための本震と余震の規模の関係について
- 4 敷地北側防潮堤設置ルートの変更について
- 5 東北地方太平洋沖地震時の被害状況を踏まえた東海第二発電所の地震・津
波による被害想定について

下線部：今回提出範囲

1 有効応力解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認について

1. 概 要

東海第二発電所の有効応力解析に用いる解析コードである FLIP Ver. 7.3.0_2 について、検証及び妥当性確認を行った。結果を以下に示す。

2. FLIP Ver. 7.3.0_2 の概要、検証及び妥当性確認

	コード名：FLIP
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 7.3.0_2
使用目的	地震応答解析（時刻歴解析）
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所（現：(独)港湾航空技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく 2 次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>FLIP の特徴として以下の①～⑤を挙げることができる。</p> <ul style="list-style-type: none">① 有限要素法に基づくプログラムである。② 平面ひずみ状態を解析対象とする。③ 地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や残留変形等を解析する。④ 土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリング・モデルを採用している。⑤ 液状化現象は有効応力法により考慮する。必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを使用している。

<p>検証 (Verification)</p> <p>&</p> <p>妥当性確認 (Validation)</p>	<p>FLIP Ver. 7.3.0_2 は, 防潮堤等の地震応答解析に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し, 解析解が提示解と一致することを確認した。 ・ 本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの検証内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説 (2007) (社団法人日本港湾協会)」において, 港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており, 今回の解析に使用することは妥当である。 ・ 本工事計画において使用するバージョン (Ver. 7.3.0_2) と他プラントの既工事計画で使用されたバージョン (Ver. 7.2.3_4) との解析結果の比較を行い, 解析結果が等しいことを確認した。(別紙)
---	---

解析結果

比較対象：鋼管杭鉄筋コンクリート防潮堤

Ver. 7.3.0_2 と Ver. 7.2.3_4 との加速度の解析結果の比較を行い，解析結果が等しいことを確認した。

図 1 に出力節点の位置図を示す。

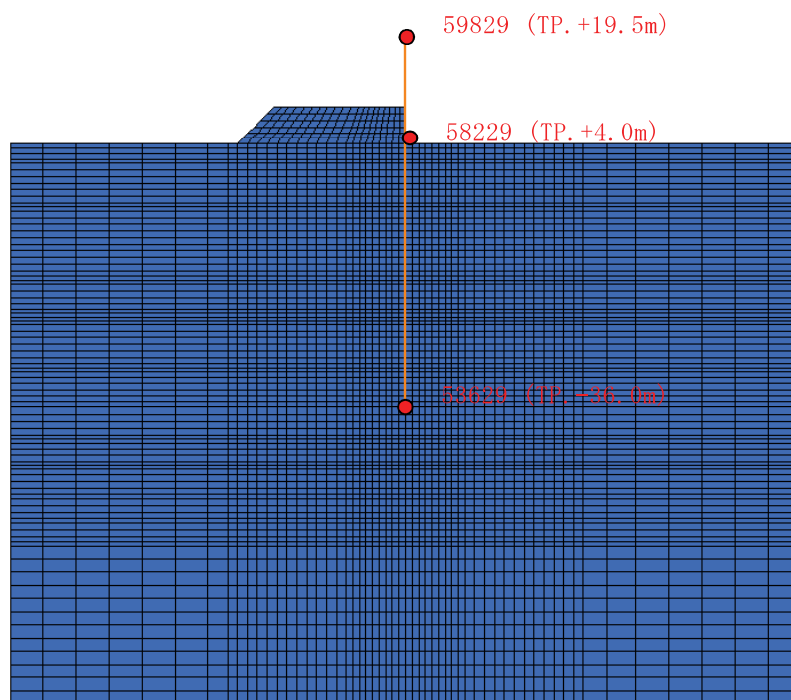


図 1 出力節点の位置図

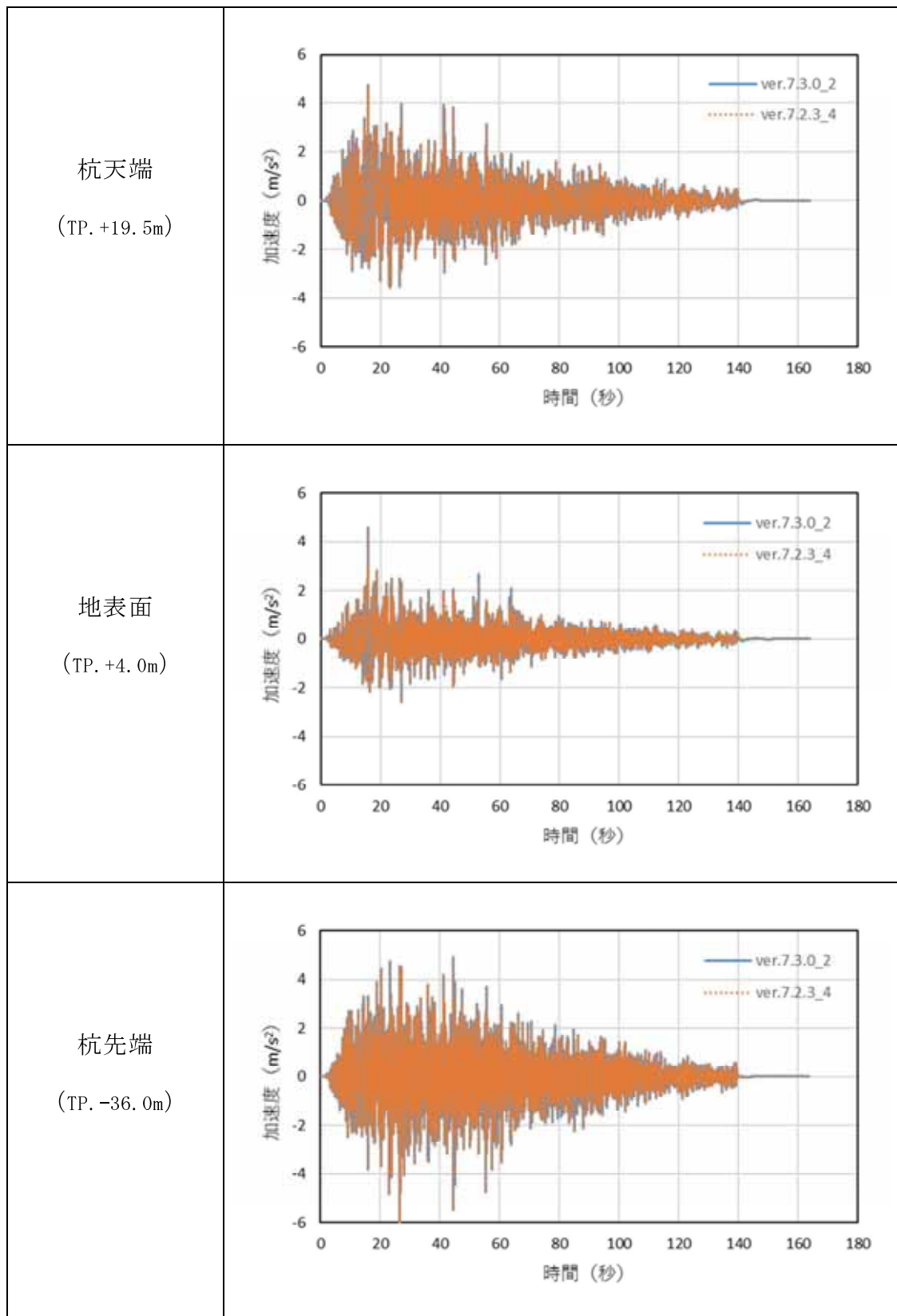


图 2 水平方向加速度 (m/s^2)

1-4

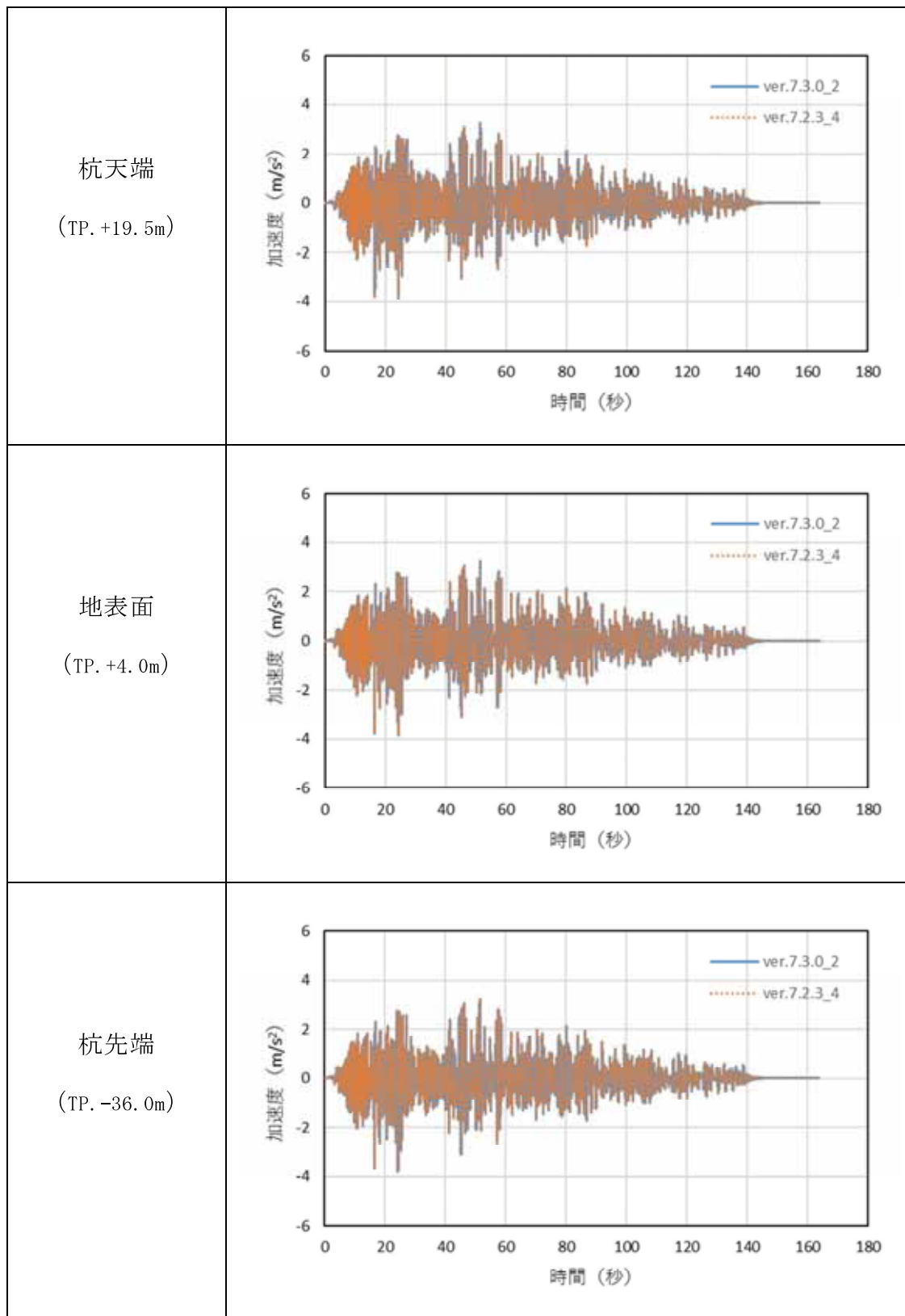


図 3 鉛直方向加速度 (m/s^2)

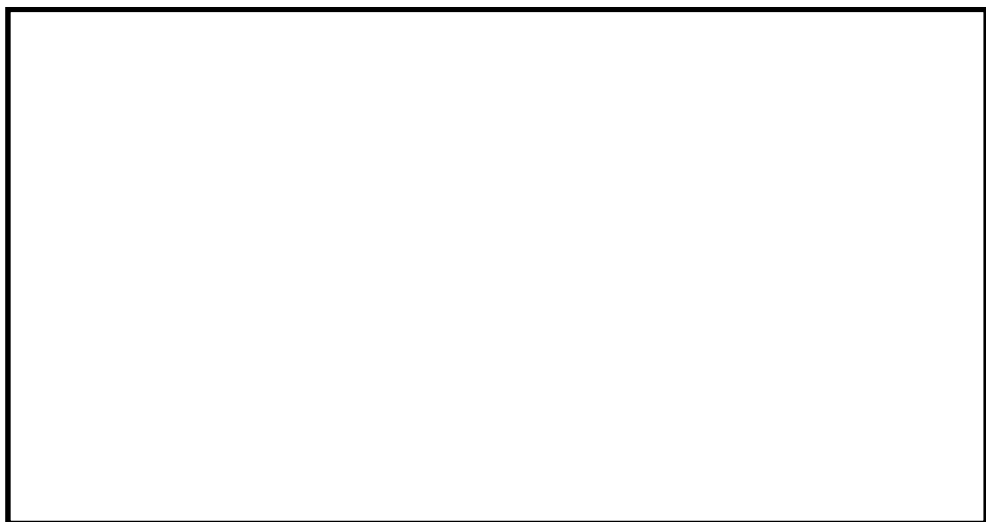
2 (旧) レーザー濃縮技術研究組合の許認可上の位置付け及び管理状況について

(1) (旧) レーザー濃縮技術研究組合の許認可上の位置付け

レーザー濃縮技術研究組合は、原子レーザー法ウラン濃縮に関する試験研究を目的として、平成元年4月に核燃料物質の使用の許可を受け、金属ウランを用いたウランの蒸気特性、レーザー光照射による電離回収特性などを評価するため試験を実施してきた。

平成14年3月に最後の試験を終了し、平成14年12月に核燃料物質の使用の変更の許可（平成14年10月25日核燃料物質使用変更許可申請）を受けて、平成15年4月より研究設備等の撤去工事を開始した。その後、平成17年1月13日に核燃料物質使用廃止届出書を届け出て、研究施設の使用を廃止した。

現在は、当社東海第二発電所が核燃料物質使用変更許可（平成16年11月5日変更申請）を受け、平成17年1月13日にレーザー濃縮技術研究組合より、ウラン廃棄物貯蔵建屋等及びウラン廃棄物の引き渡しを受け管理している。



(旧) レーザー濃縮技術研究組合の配置図

(2) ウラン廃棄物の防護措置上の位置づけ

ウラン廃棄物は、核原料物質、核燃料物資及び原子炉の規制に関する法律施行令第三条（防護対象特定核燃料物質）における「防護対象特定核燃料物質」に該当しないため、防護措置の対象外になっている。

また、ウラン廃棄物の貯蔵保管量は、同施行令四十一条（施設検査等を要する核燃料物質）で定める取扱量に満たないことから、施設検査、溶接検査、保安規定を要する核燃料物質に該当しない。

(3) 現状の管理状況

ウラン廃棄物の貯蔵保管中の管理として、廃棄物及び建屋等の巡視点検及び放射線管理測定（1回／週）、警備管理（常時）を実施している。

なお、これら作業は、旧レーザー濃縮技術研究組合の構成員である12者による「レーザー濃縮技術研究組合東海濃縮実験所の放射性廃棄物の貯蔵保管に関する契約書」（平成16年12月20日締結）に基づき、当社が代表して実施している。

現状の廃棄物保管状況



ドラム缶 2,912 本相当
①機器類（金属・非金属）：1,898 本相当
②コンクリート類：42 本相当
③運転中廃棄物（研究開発分）：972 本相当

核燃料物質	最大存在量
・劣化ウラン（未照射）（酸化ウラン，ウラン合金）	<input type="text"/>
・天然ウラン（未照射）（酸化ウラン，ウラン合金，ウラン鋼）	<input type="text"/>
・濃縮ウラン（～5wt%，未照射）（酸化ウラン，ウラン合金）	<input type="text"/>
・濃縮ウラン（5～15wt%，未照射）（酸化ウラン）	<input type="text"/>

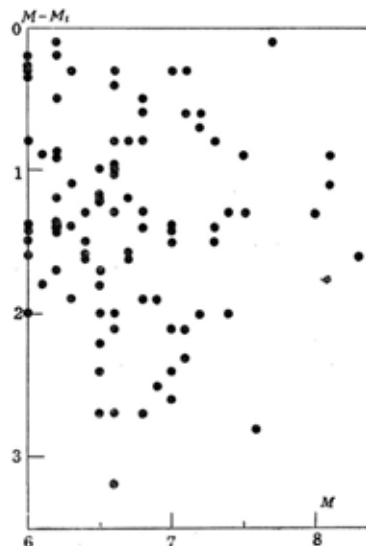
3 余震の規模の設定のための本震と余震の規模の関係について

本震と最大余震規模の差については、本震の規模に依存しないことが知られている（古本（2005））。例えば宇津（1957）では、日本で発生した地震について、本震、最大余震規模の差と本震規模の関係を第1図のとおり示し、両者の関係は低いことを指摘している。

したがって、本震規模を M_0 、最大余震規模を M_1 、両者の差を D_1 とすれば、 D_1 は本震規模に依存しない定数になることから、最大余震規模 M_1 は下記の1次式で表現できる。

$$M_1 = M_0 - D_1$$

最大余震規模の評価式は、上式を当てはめた回帰分析により D_1 を求めることで得られる（第2図）。このように、最大余震規模の評価式は、地震学的知見を踏まえた上で定式化したものであり、これを最大余震規模の評価に用いることは適切である。

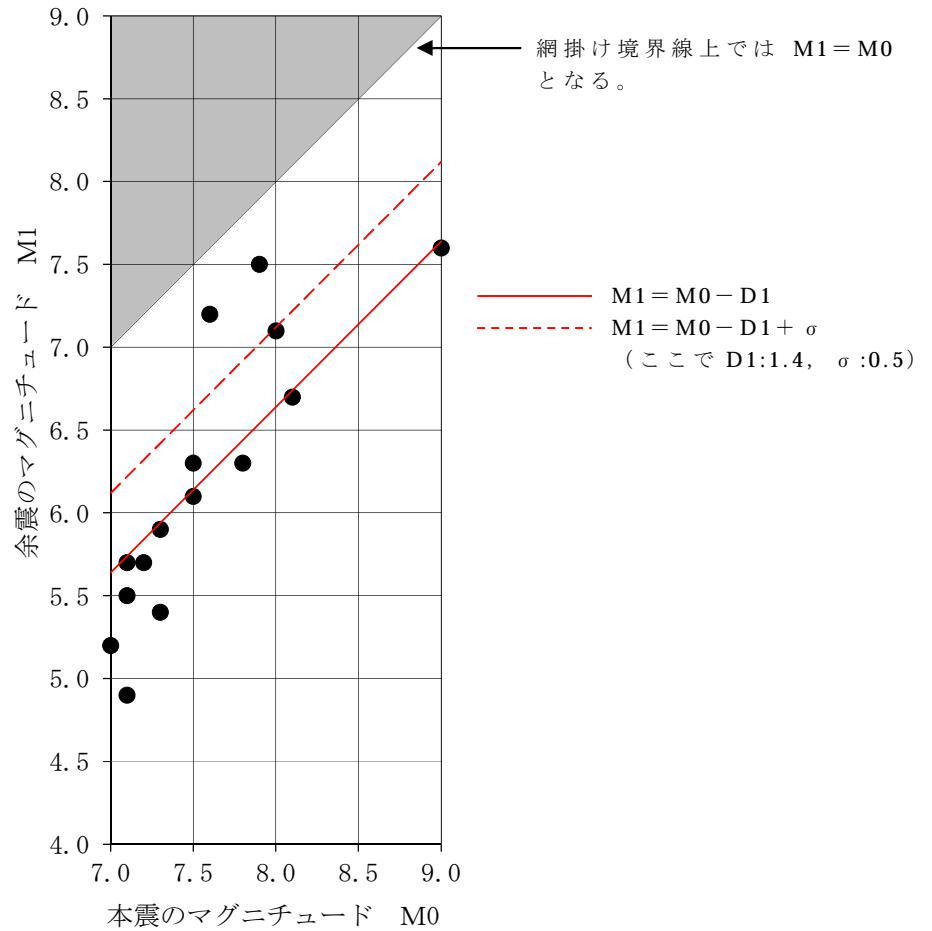


横軸：本震の規模
縦軸：本震と最大余震の規模の差

Fig. 3. Relation between magnitude of mainshock M and magnitude of the largest aftershock M_1

第1図 本震規模と最大余震規模の差と本震規模の関係

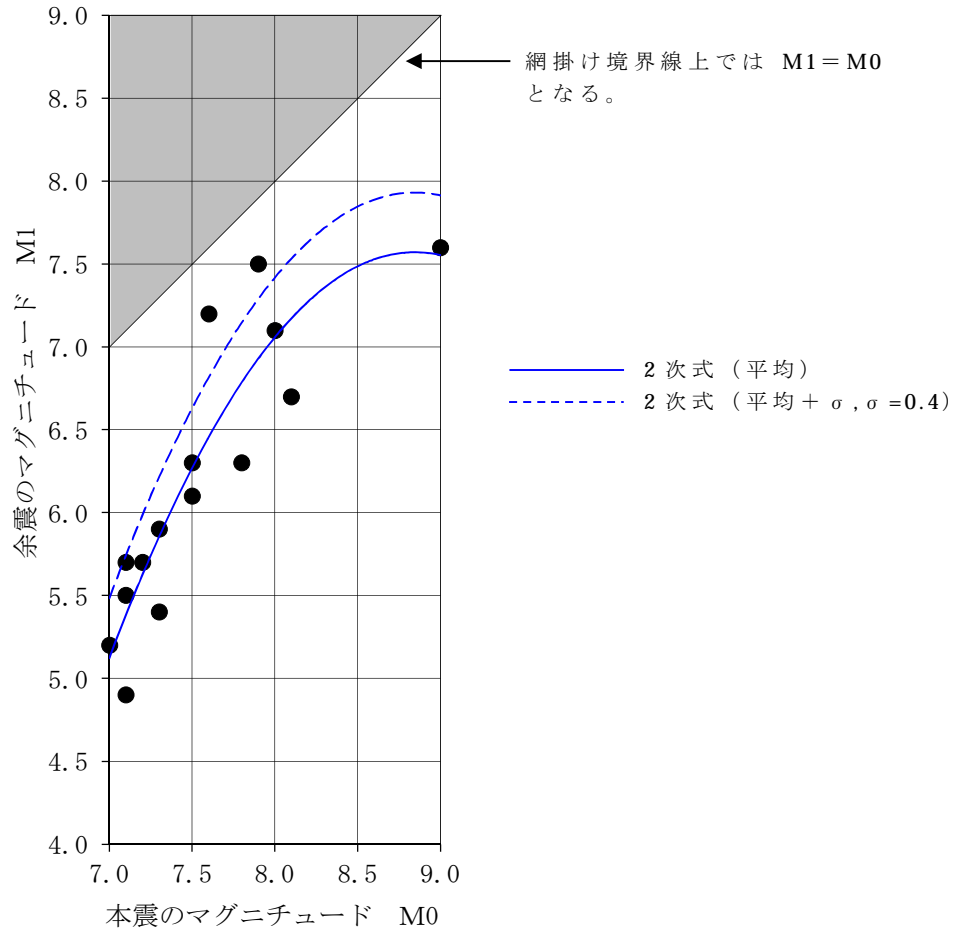
（宇津（1957）に一部加筆）



第 2 図 本検討における本震規模と最大余震規模の関係

ここからは、本震と最大余震の規模の関係について、2 次曲線で回帰した場合の検討を行う。その結果を第 3 図に示す。2 次曲線で回帰した場合、最大余震規模 $M1$ は、本震規模 $M0$ がおよそ 8.5 を超えるとそれ以上本震規模が大きくなっても余震規模は大きくならない関係となっている。このような余震規模の頭打ちについては地震学的知見からは考えにくい。

以上のことから、最大余震規模の評価については 2 次式ではなく 1 次式を用いることが妥当である。



第3図 本震規模と最大余震規模の関係 (2次式)

参考文献

古本宗充 (2005) : 本震と最大余震のマグニチュード差と地殻熱流量, 地震第2輯, 第58巻(2005), 221-224頁

宇津 (1957) : 地震のマグニチュードと余震の起りかた, 地震第2輯, Vol.10, 35-45頁

4 敷地北側防潮堤設置ルートの変更について

敷地北側の防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）については、支持構造を岩着支持杭に変更するとともに、周辺の表層地盤の地震時における地盤の変形や津波による洗掘などに対して、浸水防護をより確実なものとするため、地盤改良の実施及びシートパイル等の設置を行うこととした。また、地盤改良等の実施に当たっては、「低レベル放射性廃棄物埋設事業所廃棄物埋設施設（L3事業所）」及び他事業所施設の地下水流況に影響を及ぼす可能性を考慮し、設置ルートの変更を行うこととした。（第486回審査会合（平成29年7月13日）にてご説明）

その後、防潮堤設置ルートの変更に当たって、現地における干渉物の状況調査や設置ルート変更に伴う敷地北側エリアへのアクセス性等について検討してきたが、今般検討が終了したため、具体的な防潮堤ルート（線形形状）について報告する。

（1）変更後の防潮堤設置ルート

変更後の防潮堤設置ルートを図1に示す。設置ルートの設定に当たっては、敷地北側の他事業者施設との離隔、放水路横断部の鉄筋コンクリート防潮壁（地中連続壁基礎）との取り合い、防潮堤により分断される敷地北側へのアクセス道路造成を考慮した。

（2）今後の予定

今回の防潮堤設置ルートが既往の解析結果に及ぼす影響を確認するため、第486回審査会合にて示した線形形状による試解析を実施した。その結果、図2に示すとおり、防潮堤設置ルート変更後におい

ても、防潮堤位置における最高水位に変化がないことを確認した。

今後、今回提示した防潮堤設置ルートにて、再度津波解析を行い、基準津波の評価結果への影響、試解析結果の妥当性を確認するとともに、敷地に遡上する津波を想定した敷地内の浸水範囲、浸水量（高さ）について確認する予定である（平成 29 年 8 月下旬）。

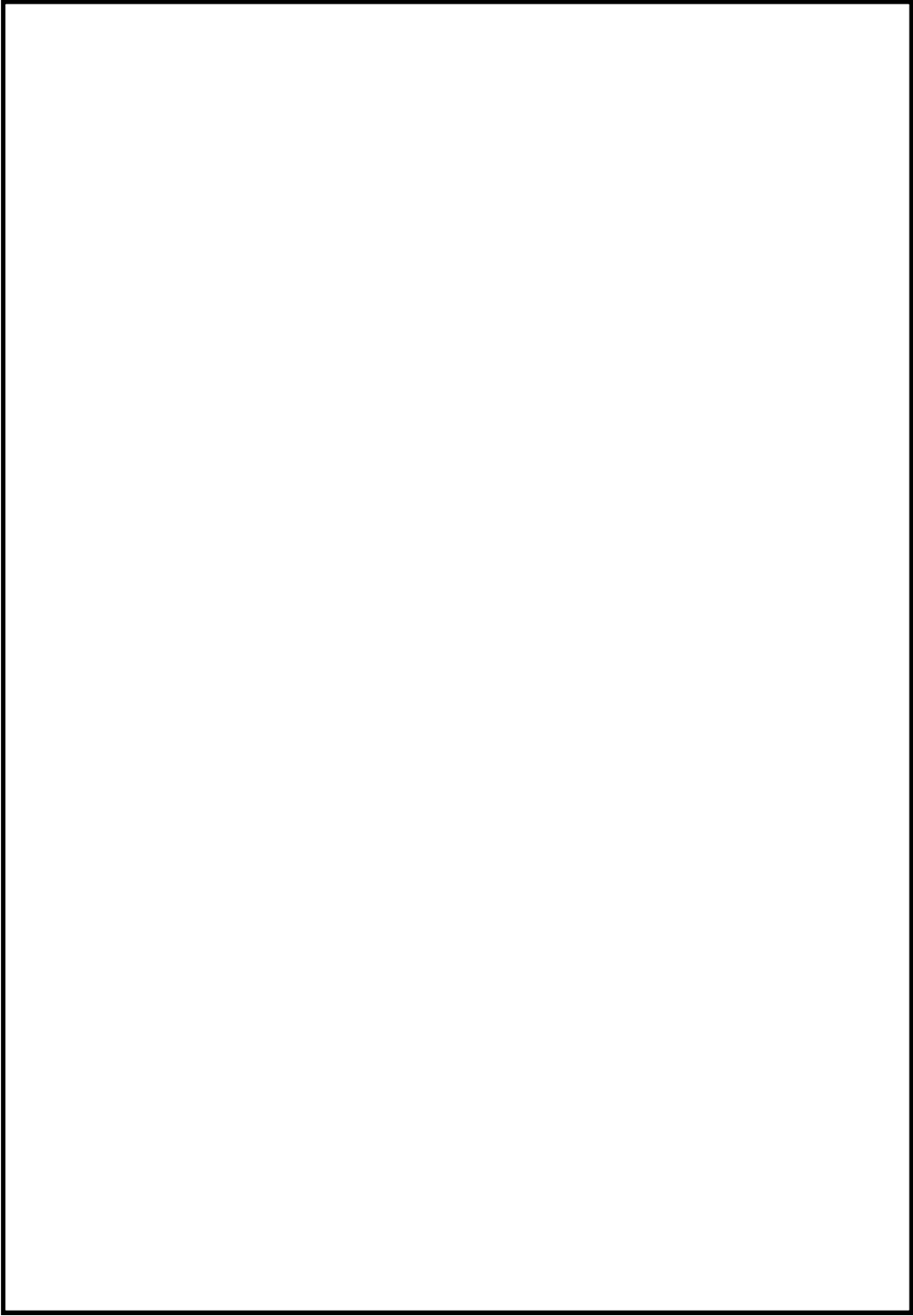


図1 変更後における防潮堤設置ルート

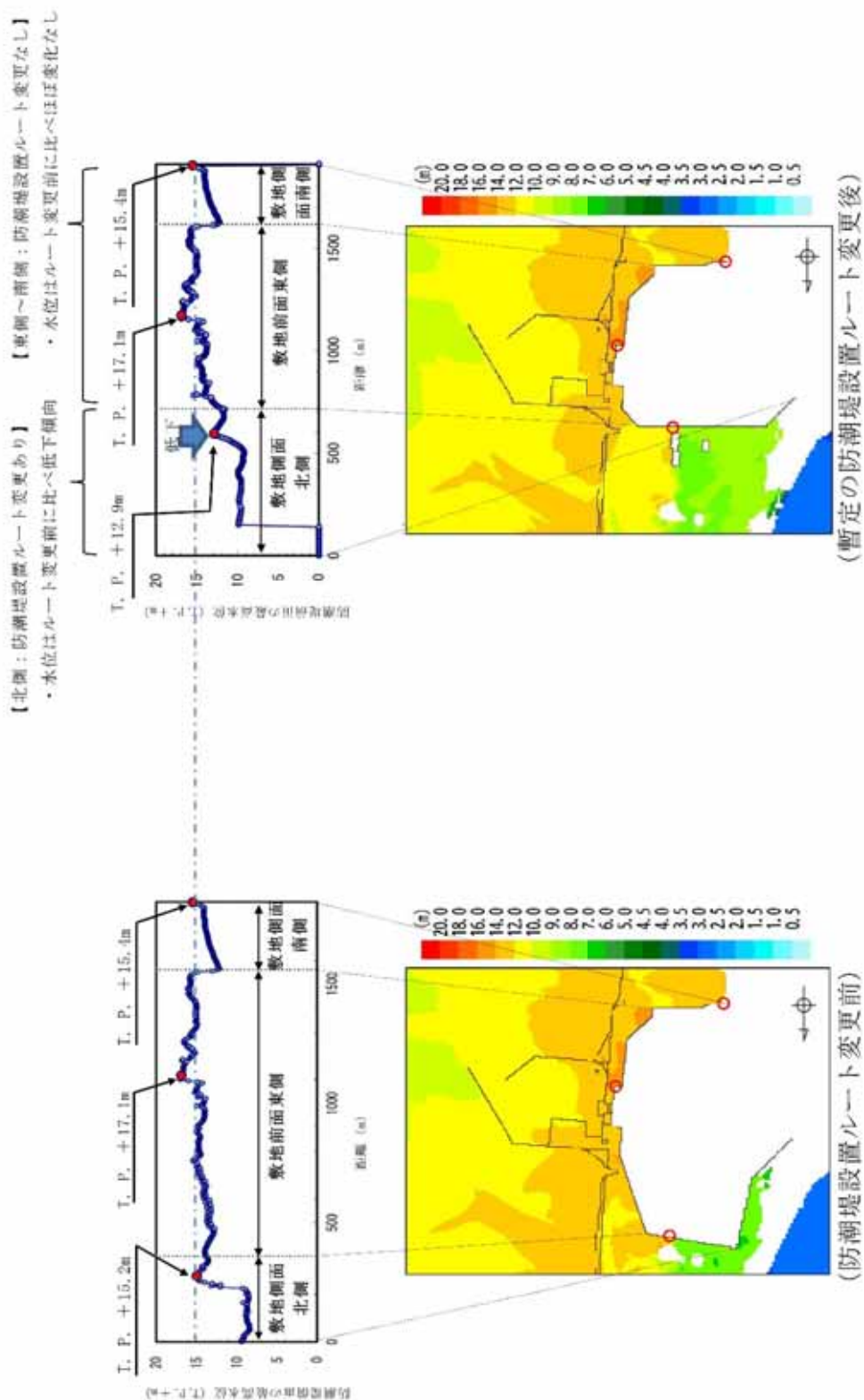


図2 既往の基準津波による防潮堤前面における津波水位の試解析結果
 (防潮堤設置ルート変更前後の比較)

5 東北地方太平洋沖地震時の被害状況を踏まえた東海第二発電所の地震・津波による被害想定について

基準津波に伴う取水口付近の漂流物に対する取水性評価の実施にあたり，2011年東北地方太平洋沖地震時（以下3.11地震時という。）の地震・津波による被害状況を踏まえ，地震・津波による東海第二発電所の被害想定を整理した。以下に3.11地震時における東海第二発電所及び甚大な被害を受けた東北地方の被害状況を示す。

(1) 3.11地震時の東海第二発電所における被害状況

3.11地震時の地震・津波による建屋等の被害状況を第1図に示す。3.11地震時の地震・津波により，津波遡上域の建屋本体の滑動などは確認されていないが，鉄骨造建屋である輸送本部建屋の外装材の破損やメンテナンスセンターのシャッターの変形，自動販売機の転倒が確認されている。



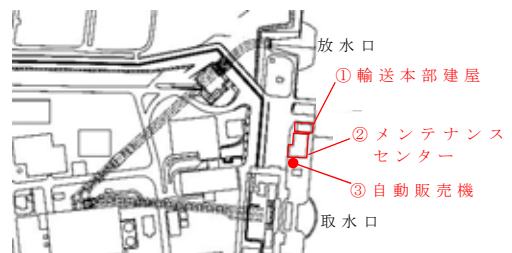
① 輸送本部建屋（S造）
津波による外装材破損



② メンテナンスセンター（S造）
シャッター変形



③ メンテナンスセンター（S造）
自動販売機転倒



建屋等配置

第1図 3.11地震時の地震・津波による建屋等の被害状況

(2) 3.11 地震時の東北地方における建築物の被害状況

3.11 地震時の地震・津波による被害の大きかった東北地方の被災状況について整理した。

3.11 地震時の東北地方における鉄筋コンクリート建築物の被害状況を第 1 表に示す。鉄筋コンクリート造の建築物については、所在地によっては浸水深が 15m を超えるような規模の津波の襲来を受けた建築物も存在し、壁面や窓等の損傷が確認されたが、このような大きな規模の津波の襲来時においても建築物全体が滑動し、漂流するような事例は確認されていない。

第 1 表 3.11 地震時の東北地方における建築物の被害状況
(鉄筋コンクリート造建築物の例)

		
<p>宮城県南三陸町 鉄筋コンクリート造 津波浸水深：15.4m</p> <p>【被害状況】 構造的な被害は確認されていない。</p>	<p>宮城県仙台市 鉄筋コンクリート造 津波浸水深：5.0m (建築物内部)</p> <p>【被害状況】 外壁の損傷が確認されたが建築物全体の破壊には至っていない。</p>	<p>公営集合住宅（所在地不明） 鉄筋コンクリート造 津波浸水深：7.5m</p> <p>【被害状況】 外壁の損傷が確認されたが建築物全体の破壊には至っていない。</p>

鉄骨造建築物については浸水深によらず外装板が波力により破損し、漂流した事例が確認された。津波の襲来により早期に外装板が破損し大きな波力を受けなかったと推測される建築物については残存していたが、外装板が破損する前に大きな波力を受けたと推測されるものについては崩壊、転倒したものも確認されている。

木造建築物については浸水深が 2m 以下の規模の地域ではほとんどの木造建築物が残存していたが、浸水深が 4m を超える規模の地域では木造建築物が流失する可能性が高かった。

(3) 3.11 地震時の被害状況を踏まえた発電所敷地内及び発電所敷地外における施設・設備の被害想定

3.11 地震時の被害状況を踏まえると、地震又は津波による発電所敷地内及び発電所敷地外の施設・設備の被害としては以下のように想定する。

鉄筋コンクリート造の建屋等については滑動が起こることは考え難く、万が一滑動が起こった場合においても滑動した建屋等は重量物であるため漂流しないと考えられる。地震又は津波の波力により部分的な損壊が起こる可能性があり、損壊により生じたがれき等については漂流する可能性がある。

鉄骨造の建屋等については滑動が起こることは考え難く、万が一滑動が起こった場合においても滑動した建屋等は重量物であるため漂流しないと考えられる。地震又は津波の波力により部分的な損壊が起こる可能性があり、損壊により生じた外装板片等については漂流する可能性がある。

木造の家屋等については滑動が起こることは考え難く、万が一滑動が起こった場合においても滑動した家屋等は津波の波力により本来の形状を維持せず損壊すると考えられる。損壊により生じた木片、その他構成部材等については漂流する可能性がある。

また、自動販売機などの比較的軽量な物品については津波により漂流する可能性がある。

参考資料

ISSN 1346-7301 国総研研究報告 第 52 号 平成 25 年 1 月国土技術
政策総合研究所研究報告 2011 年東日本大震災に対する国土技術政
策総合研究所の取り組み - 緊急対応及び復旧・復興への技術支援
に関する活動記録 -, 188-190 頁