

東日本大震災における
エネルギー施設(火力・水力・送変配電・ガス)
の被害状況と今後への展開について

報告書（最終報告）

平成26年8月

土木学会 エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会

はじめに

平成23年3月11日(金)、マグニチュード9.0というわが国観測史上最大の「東北地方太平洋沖地震」が発生した。強大な地震とともに巨大な津波が東北地方から関東地方を襲い、広範に及ぶ数多くの施設に甚大な被害をもたらした。

土木学会エネルギー委員会新技術・エネルギー小委員会は「東日本大震災」における被害状況から今後に向けての教訓を引き出すことが重要との認識から、エネルギー施設(火力・水力・送変配電・ガス)の被害状況の調査・分析・評価に取り組むこととし、火力発電所、水力発電所、変電・送電・配電設備等及びガス施設の土木構造物等の被害状況の調査を進め、従来の設計手法の妥当性の評価、復旧の考え方や復旧への取組に関する考察を経て、新たな知見や課題に関する検討を行い、ここに本報告書(中間報告)を取り纏めた。

この際、今回の被災は広域かつ多数の施設に亘り被害形態も多様であることから、被害状況を一様に記録することにも意を用い、火力発電所及び水力発電所の被害状況と復旧状況に関する調査結果を参考資料に一覧表として纏めた。

今回の調査に当たっては、被災施設を持つ関係事業者・機関等が、なお厳しい状況が続くなかで、本調査の主旨に賛同のうえ献身的なご協力を頂いた。この場を借りて心より御礼申し上げます。

現時点においてもなお、今回の大震災の原因の分析や対策の検討に関する真剣な議論が多方面において続けられているところであり、本報告書(中間報告)もいくつかの課題を残した検討途上に位置するものである。先人達はその教訓を後世に伝えようと宮古市姉吉地区に残した石碑には及ぶべくもないが、もし本報告書(中間報告)が今後に向けての教訓として僅かばかりでも参考となるならば、それは当小委員会の願いである。

平成25年2月 新技術・エネルギー小委員会

【追記】 報告書(最終報告)の取り纏めにあたって

当小委員会は平成25年2月に報告書(中間報告)を作成し公表したところである。中間報告の作成時点においては、未だ復旧途上にあったエネルギー関連施設も少なくなく、当小委員会において収集できた情報にも限りがあったことから、その時点で可能な調査・分析・評価に留まる範囲で中間報告を取り纏めたものである。

その後において収集できた情報、更なる分析・評価を追記して、このほど最終報告を取り纏めた次第である。主な追記の内容は、火力発電所と水力発電所の被害状況と復旧状況について、水力発電所のアスファルト表面遮水壁におけるひび割れ発生について(原因分析と対策等)である。

報告書（最終報告）の取り纏めに当たっては、多くの関係の皆様より多大なるご協力とご尽力を頂いた。この場を借りて改めて心より御礼申し上げます。

平成26年8月 新技術・エネルギー小委員会

■土木学会エネルギー委員会 新技術・エネルギー小委員会

委員長	細川 政弘	清水建設(株)
委員	近藤 聡史	東京電力(株)建設部 (交替 小松崎勇一、大槻哲也)
委員	尾崎 重浩	四国電力(株)土木建築部 (交替 岡田英信)
委員	奥村 智之	経済産業省商務流通保安グループ電力安全課
委員	橋本 進	電源開発(株)技術開発部茅ヶ崎研究所 (交替 下越 仁)
委員	鈴木 英治	中部電力(株)発電本部土木建築部 (交替 山本敏勝)
委員	川口 雅樹	関西電力(株)土木建築室 (交替 小倉和己、花本希樹)
委員	樋口 義弘	清水建設(株)土木技術本部
アドバイザー	溝口 充史	経済産業省商務流通保安グループガス安全室 (交替 杉 司)
幹事	土居 賢彦	東京電力(株)福島本部福島原子力補償相談室
幹事	長谷川 洋	電源開発(株)土木建築部 (交替 多田康一郎)

■小委員会活動経過

第 1 回	平成23年 3月24日	調査検討の目的・あり方について
第 2 回	平成23年10月 5日	調査検討の基本的方針について
第 3 回	平成23年10月16日	調査すべき項目について
第 4 回	平成24年 2月29日	被害状況の分析・評価について
第 5 回	平成24年 5月30日	被害状況・復旧状況の分析・評価について
第 6 回	平成24年 7月27日	中間報告書(案)とりまとめについて
第 7 回	平成24年11月22日	中間報告書とりまとめについて
第 8 回	平成25年 2月 8日	中間報告書最終確認について
第 9 回	平成25年 9月 6日	最終報告書の方向性について
第10回	平成26年 2月21日	最終報告書(案)とりまとめについて
第11回	平成26年 8月28日	最終報告書について

■小委員会幹事会活動経過

第 1 回	平成23年 7月 8日
第 2 回	平成23年 7月26日
第 3 回	平成23年 8月29日
第 4 回	平成23年 9月13日
第 5 回	平成24年 2月24日
第 6 回	平成24年 5月23日
第 7 回	平成24年 7月 4日
第 8 回	平成24年 7月27日
第 9 回	平成24年 8月31日
第10回	平成24年11月20日
第11回	平成25年 1月17日

第12回 平成25年 7月17日

第13回 平成25年12月24日

第14回 平成26年 7月10日

目 次

	頁
第1章 調査対象と調査方法	1
1. 1 火力発電所	1
1. 2 水力発電所	6
1. 3 変電・送電・配電設備等	9
1. 4 ガス施設	10
第2章 地震・津波の状況、被害状況	11
2. 1 東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波の影響	11
2. 2 火力発電所	14
2. 3 水力発電所	22
2. 4 変電・送電・配電設備等	24
2. 5 ガス施設	28
第3章 従来設計手法に対する評価	34
3. 1 火力発電所	34
3. 2 水力発電所	40
3. 3 変電・送電・配電設備等	41
3. 4 ガス施設	42
第4章 被災施設の復旧対策	43
4. 1 火力発電所	43
4. 2 水力発電所	48
4. 3 変電・送電・配電設備等	52
4. 4 ガス施設	53
第5章 今後への展開	60
5. 1 火力発電所	60
5. 2 水力発電所	65
5. 3 変電・送電・配電設備等	66
5. 4 ガス施設	66

参考資料

1. 火力発電所 津波浸水範囲
2. 火力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果
3. 水力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果
4. 火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況
5. 火力発電所 各発電所ヒアリング結果、参考写真
6. 水力発電所 参考写真
7. ガス設備 被害状況写真
8. アスファルト表面遮水壁におけるひび割れ発生について
9. 参考文献リスト

第1章 調査対象と調査方法

1.1 火力発電所

調査対象と調査方法を下記に示す。

■調査対象会社

東京電力、東北電力、電源開発、相馬共同火力、常磐共同火力、鹿島共同火力、君津共同火力

■調査対象物

- ・調査対象物は土木構造物とし、機械設備等に関しては土木技術者として参考にすべき情報と思われるもののみ記載した。
- ・発電所については、津波の影響を考慮して、太平洋岸（青森県～神奈川県）および東京湾内の全てを対象とした。調査した発電所を表-1.1.1に、その位置図を図-1.1.1に示す。

■調査方法

アンケートによる

質問内容を p.4 以降に示す。

■調査結果

個々の施設の調査結果は 参考資料5 火力発電所 各発電所ヒアリング結果、参考写真 に示す。

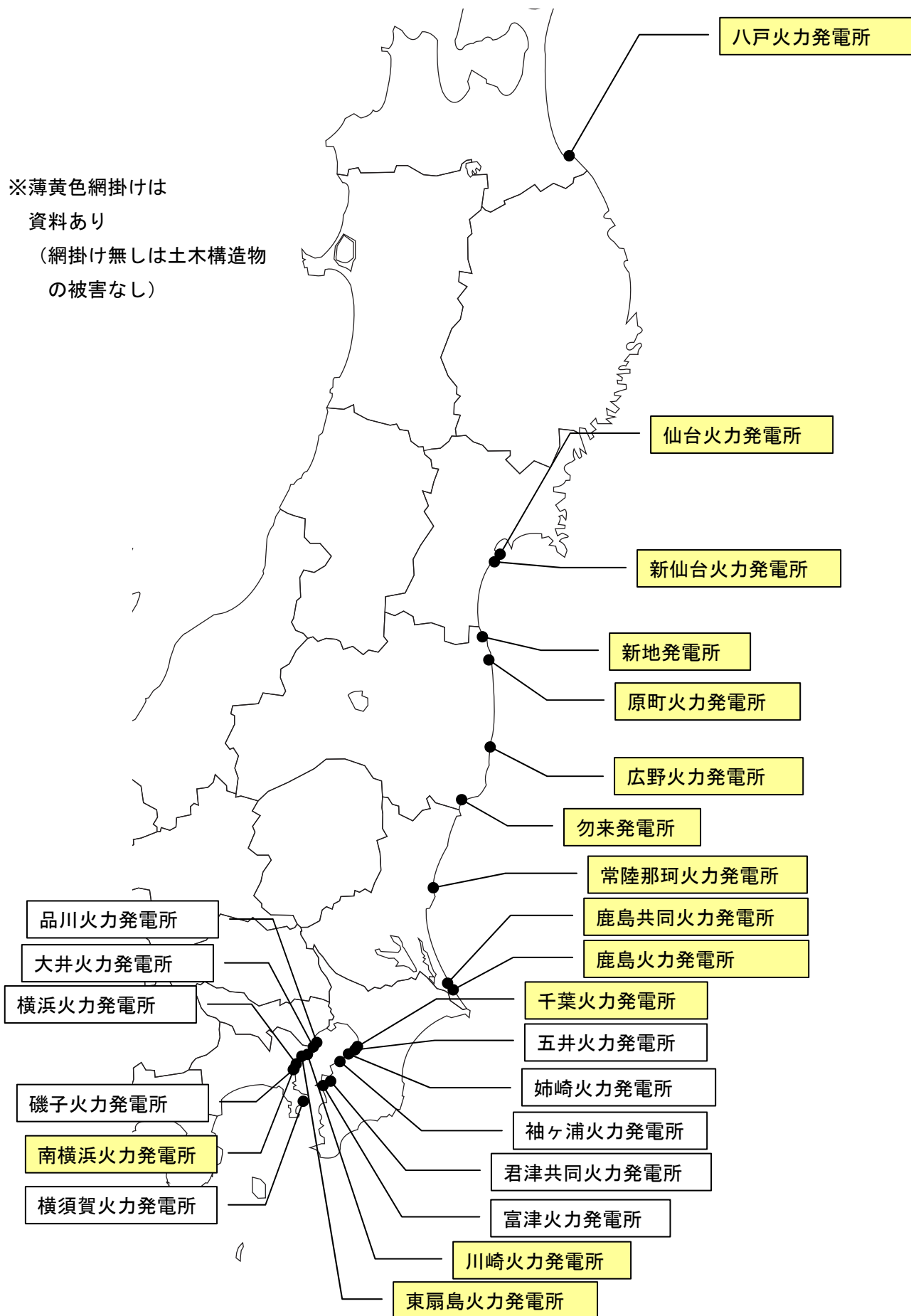
調査結果のまとめを 参考資料2 火力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果 に示す。

表-1.1.1 調査対象発電所一覧

電力会社	発電所名	使用燃料	総出力	所在地	資料
東北電力	八戸火力発電所	重油、原油	25 万 kW	青森県八戸市	○
	仙台火力発電所	天然ガス	44.6 万 kW	宮城県宮城郡七ヶ浜町	○
	新仙台火力発電所	重油	35 万 kW	宮城県仙台市宮城野区	○
	原町火力発電所	石炭	200 万 kW	福島県南相馬市	○
東京電力	広野火力発電所	重油、原油、石炭	380 万 kW	福島県双葉郡広野町	○
	常陸那珂火力発電所	石炭	100 万 kW	茨城県那珂郡東海村	○
	鹿島火力発電所	重油、原油	440 万 kW	茨城県神栖市	○
	千葉火力発電所	LNG	288 万 kW	千葉県千葉市中央区	○
	五井火力発電所	LNG	188.6 万 kW	千葉県市原市	—
	姉崎火力発電所	LNG、NGL、LPG、重油、 原油	360 万 kW	千葉県市原市	—
	袖ヶ浦火力発電所	LNG	360 万 kW	千葉県袖ヶ浦市	—
	富津火力発電所	LNG	504 万 kW	千葉県富津市	—
	品川火力発電所	都市ガス	114 万 kW	東京都品川区東品川	—
	大井火力発電所	原油	105 万 kW	東京都品川区八潮	—
	川崎火力発電所	LNG	150 万 kW	神奈川県川崎市川崎区	○
	東扇島火力発電所	LNG	200 万 kW	神奈川県川崎市川崎区	○
	横浜火力発電所	LNG、NGL、重油、原油	332.5 万 kW	神奈川県横浜市鶴見区	—
	南横浜火力発電所	LNG	115 万 kW	神奈川県横浜市磯子区	○
横須賀火力発電所	重油、原油、軽油、都市 ガス	227.4 万 kW	神奈川県横須賀市	—	
電源開発	磯子火力発電所	石炭	120 万 kW	神奈川県横浜市磯子区	—
相馬共同火力	新地発電所	石炭	200 万 kW	福島県相馬郡新地町	○
常磐共同火力	勿来発電所	石炭、重油、炭化燃料	162.5 万 kW	福島県いわき市	○
鹿島共同火力	鹿島共同発電所	副生ガス、重油	140 万 kW	茨城県鹿嶋市	○
君津共同火力	君津共同発電所	副生ガス、重油	121.2 万 kW	千葉県君津市	—

—の発電所は土木建造物の被害なし

図-1.1.1 調査発電所位置図



アンケート内容

■事業者名

■発電所名

■設備概要

・全体仕様

運開時期、出力、燃料など、パンフレットベースの情報（パンフレット添付でも結構です。）

・発電所配置図

・主要土木設備仕様

○港湾設備

着棧設備：着棧可能容量（〇〇DWT級など）など

護岸：形式、天端高さなど

防波堤：形式、天端高さなど

○復水器冷却水路設備

取水口：形式、取水量など

取水路、取水槽：内空寸法など

放水槽、放水路：内空寸法など

放水口：形式、放水量など

○燃料設備

タンク：燃料種別、形式、容量など

○その他 特記すべき設備があれば

■地盤情報

・地盤レベル、地下水レベル

※地盤レベルをどのように設定されたか記載頂けると非常に参考になります

・地盤構成：一般的な土層構成

・地盤改良：地盤改良箇所、工法、仕様

■地震観測記録

・最大加速度、最大速度

・計器設置場所（地表面 or 基盤層 [GL-〇〇m] or 設備上 [GL+〇〇m]) など

■津波観測記録

・浸水高、浸水深、遡上高

・浸水の概略範囲（発電所配置図等への記載）

・継続時間

■被害状況（地震による被害）

※写真や被害箇所がわかる図面等も併せてご提供頂けると幸いです。

・土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）

・液状化の有無

・地盤沈下状況

※支障のない範囲で液状化に関して少し詳しい資料、例えば写真及び沈下・変形量等に関する概略データのご提供をお願い致します。なお、ご提供いただく資料は、既存のもの流用で構いません。

■被害状況（津波による被害）

※写真や被害箇所がわかる図面等も併せてご提供頂けると幸いです。

- ・ 土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）
- ・ 設備被害 ※土木構造物との関連で特記すべきもの
 例えば、タンクの転倒や配管架構が押し流された際のアンカー破断など
- ・ 環境被害 例えば、油タンク漏洩、変圧器絶縁油中のPCBによる汚染など

■復旧状況

※写真等も併せてご提供頂けると幸いです。

- ・ 復旧の考え方（優先順位や、どの程度の地震や津波を考慮して復旧するかなど）
- ・ 復旧設備、復旧方法、時期
 ※今後の予定があれば、それも記載頂けると幸いです。
- ・ 発電所の稼働状況（あるいは運転開始時期予想）

※主な被害の復旧方法（仮復旧も含む）と復旧期間（それが発電再開のクリティカルとなったかどうか含む）についてより詳細に記載できる表を作成致しました。可能な範囲で記載頂ければ幸いです。

■今後への展開

※今回の地震や津波の教訓として、今後の発電所計画に活かすことができる、あるいは、活かすべきとお考えの意見、課題、知見等がございましたら、記載頂けると幸いです。

1. 2 水力発電所

調査対象と調査方法を以下に示す。

■調査対象会社

東北電力、東京電力、電源開発、東京発電、公営電気事業者（県企業局）

■調査対象

上記、電気事業者が所有する水力発電設備

■調査方法

アンケートによる

質問内容を次頁以降に示す。

アンケート調査の結果、有益な情報が得られると判断した事例に関しては、より詳細な調査をヒアリング等により実施。

■調査結果

アンケート調査の結果、損傷があった水力発電設備は、表-1.2.1に示す8発電所であった。

個々の施設の調査結果のまとめを 参考資料3 水力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果 に示す。

表-1.2.1

電力会社	発電所名	発電所型式	出力	竣工年	所在地
東北電力	四時川第二発電所	一般、水路式	1,230kW	昭和2年7月	福島県いわき市
	移川発電所	一般、水路式	330kW	大正15年3月	福島県田村郡三春町
	川上発電所	一般、水路式	800kW	大正3年2月	福島県東白川郡塙町
東京電力	塩原発電所	揚水、ダム水路式	90万kW	平成6年6月	栃木県那須塩原市
	沼ノ倉発電所	一般、水路式	18,900kW	昭和21年12月	福島県耶麻郡猪苗代町
電源開発	沼原発電所	揚水、ダム水路式	67.5万kW	昭和48年6月	栃木県黒磯市板室
東京発電	石岡第一発電所	一般、水路式	5,500kW	明44年10月	茨城県北茨城市
	花貫川第二発電所	一般、水路式	750kW	大正9年1月	茨城県高萩市

アンケート内容

■事業者名

■発電所名

■設備概要

・全体仕様

運開時期、出力、燃料など、パンフレットベースの情報（パンフレット添付でも結構です。）

・発電所配置図

・主要土木設備仕様

○ダム

型式 : ダム型式

寸法 : 高さ、堤頂長、容量など

○水路

種類 : 開水路 or 管路 or 圧力式

寸法 : 延長、内空寸法など

○水槽

種類 : 型式

寸法 :

○水圧管路

種類 : 型式

寸法 :

○発電所

種類 : 型式

寸法 :

○その他 特記すべき設備があれば

■地盤情報

・地盤レベル、地下水レベル

・地盤構成 : 一般的な土層構成

・地盤改良 : 地盤改良箇所、工法、仕様

■地震観測記録

・最大加速度、最大速度

・計器設置場所（地表面 or 岩盤内 [E L 〇〇m] or 設備上 [G L 〇〇m]）など

■津波観測記録

・浸水高、浸水深、遡上高

・浸水の概略範囲

・継続時間

■被害状況（地震による被害）

※写真や被害箇所がわかる図面等も併せてご提供頂けると幸いです。

・土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）

・液状化の有無

- ・地盤沈下状況

■被害状況（津波による被害）

※写真や被害箇所がわかる図面等も併せてご提供頂けると幸いです。

- ・土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）
- ・設備被害 ※土木構造物との関連で特記すべきもの
- ・環境被害 例えば、油タンク漏洩、変圧器絶縁油中のPCBによる汚染など

■復旧状況

※写真等も併せてご提供頂けると幸いです。

- ・復旧の考え方（優先順位や、どの程度の地震や津波を考慮して復旧するかなど）
- ・復旧設備、復旧方法、時期
※今後の予定があれば、それも記載頂けると幸いです。
- ・発電所の稼働状況（あるいは運転開始時期予想）

■今後への展開

※今回の地震や津波の教訓として、今後の発電所計画に活かすことができる、あるいは、活かすべきとお考えの意見、課題、知見等がございましたら、記載頂けると幸いです。

1. 3 変電・送電・配電設備等

調査対象と調査方法を下記に示す。

■調査会社

東京電力、東北電力

■調査対象

- ・調査対象は土木構造物とし、機械設備等に関しては土木技術者として参考にすべき情報と思われるもののみ記載した。

■調査方法

- ・網羅的ではなく、特徴的あるいは今後の対応に参考となる事象という観点で情報収集を行い、提供のあったものを対象とした。
- ・アンケートを補足するために、「電気設備地震対策ワーキンググループ報告書」平成24年3月（原子力安全・保安部会電力安全小委員会）を参照した。

1. 4 ガス施設

調査対象と調査方法を下記に示す。

■調査会社

日本ガス協会

■調査対象

- ・調査対象は主に一般ガス事業における製造所の土木構造物とし、機械設備等に関しては土木技術者として参考にすべき情報と思われるもののみ記載した。

■調査方法

- ・日本ガス協会と協議し、「東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告書」平成24年3月 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 災害対策ワーキンググループ から引用することとし、必要に応じて個別にヒアリング等を実施した。

第2章 地震・津波の状況、被害状況

2. 1 東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波の状況

■震度分布等

東北地方太平洋沖地震による仙台火力から、鹿島火力に至る太平洋沿岸部の広い範囲において震度分布は、5弱～6強となっており、地表面での最大水平加速度は、気象庁、各研究所及び今回の発電所別調査結果によれば、約300gal～750galが観測されている。

今回の地震は、過去の地震動と比較して、継続時間が約2～3分と長く、短周期帯での振幅は大きいものの、0.5秒以上の周期帯では、兵庫県南部地震や新潟中越地震等より振幅が小さいこと等が特徴と言われている。

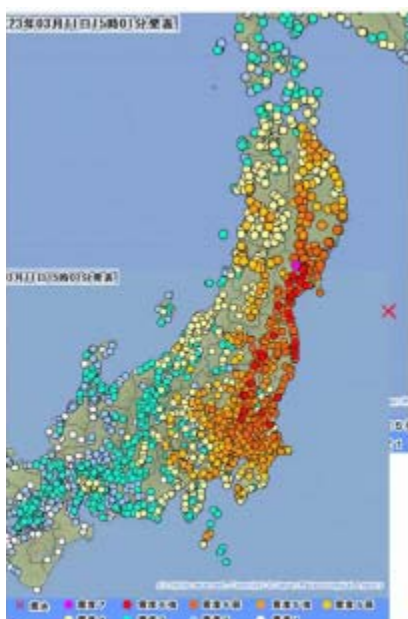


図-2.1.1 震度分布 (出典:気象庁資料)

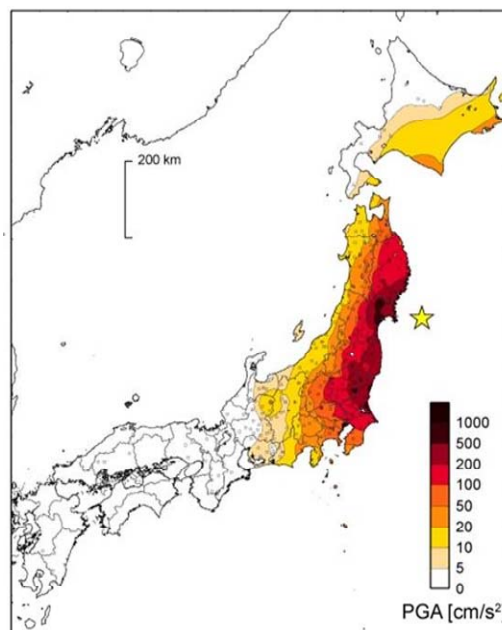


図-2.1.2 最大水平加速度分布
(出典:東京大学地震研究所 HP)

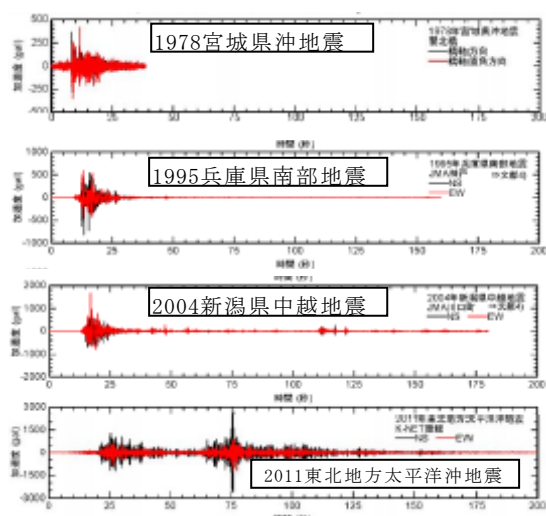


図-2.1.3 地震波形比較 (出典:気象庁資料抜粋)

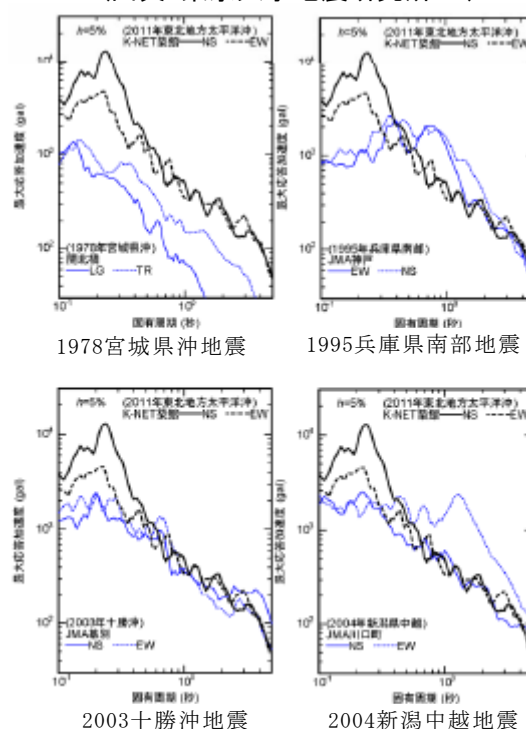


図-2.1.4 加速度応答 SP 比較 (出典:同上)

■地殻変動

国土地理院の地殻変動の観測結果によれば、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）では、最大で水平方向に約5.3m、上下方向に約1.2mという極めて大きな地殻変動が観測されており、太平洋沿岸部の火力発電所周辺の沈下量は、広野・勿来で約0.5mの沈下、原町で約0.4mの沈下、仙台・新仙台・新地・常陸那珂で約0.3m、鹿島共同・鹿島で約0.2mの沈下となっている。

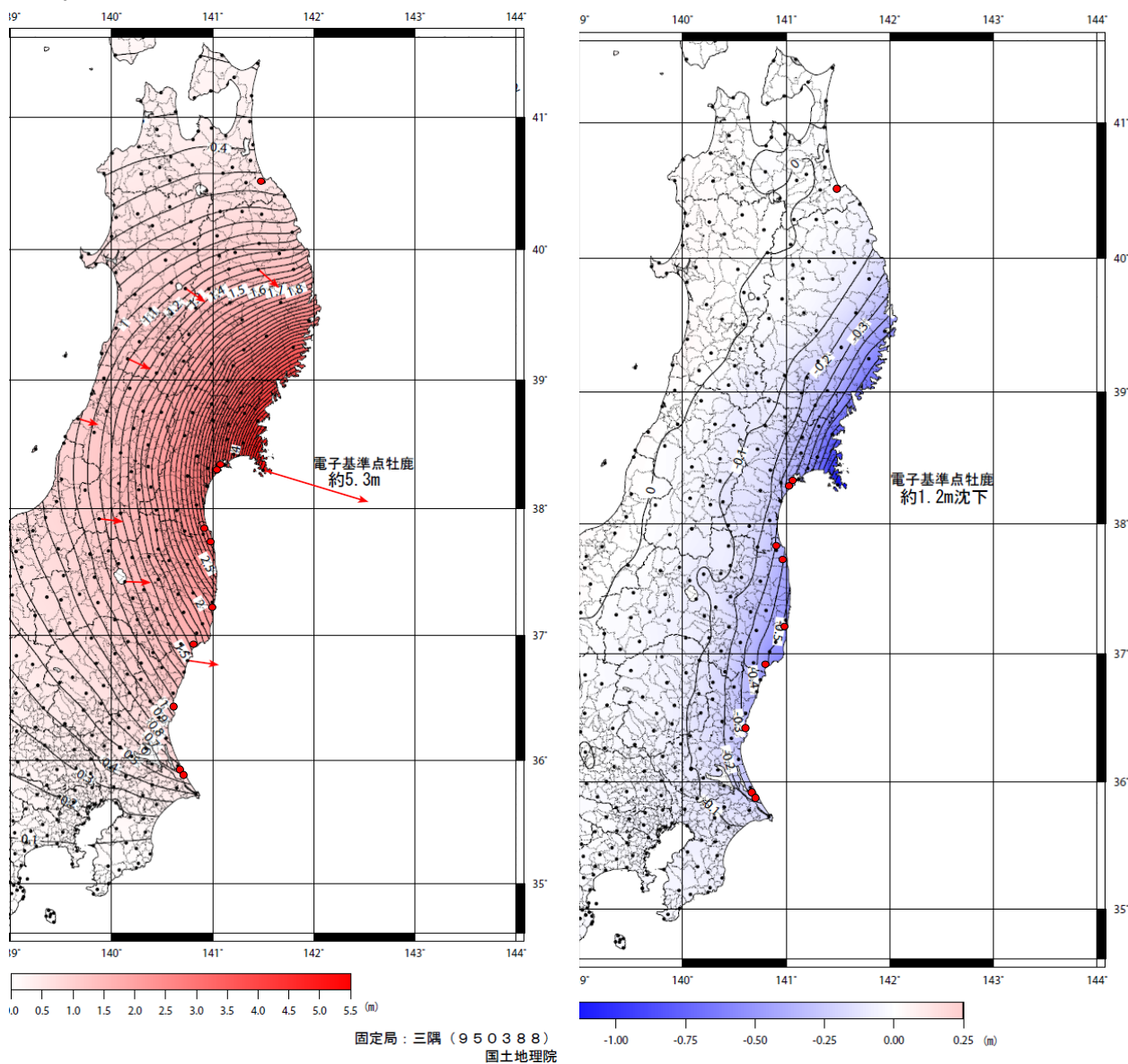


図-2.1.5 地殻変動状況

■津波高・浸水範囲

中央防災会議専門調査会の報告書によれば、東北地方太平洋沿岸部の津波高さは、下図の通りである。例えば、仙台火力の地盤高さは TP+2.5m(今回調査)となっており、浸水深は約 4.7m(今回調査)であり、地盤沈下約 0.3m(前出)を考慮すると、浸水高は約 6.9mと推察されるが、下図と整合する。

同様に、新仙台火力は、地盤高さ TP+3.7m、浸水深約 3.0m、地盤沈下約 0.3m であり、浸水高は 6.4mと推定される。原町火力は、TP+4.1m、浸水深約 13m、地盤沈下約 0.4m であり、浸水高は約 16.7m(TP 基準)となる。

火力発電所周辺の浸水範囲図を 参考資料1 火力発電所 津波浸水範囲 に示す。(国土地理院による)

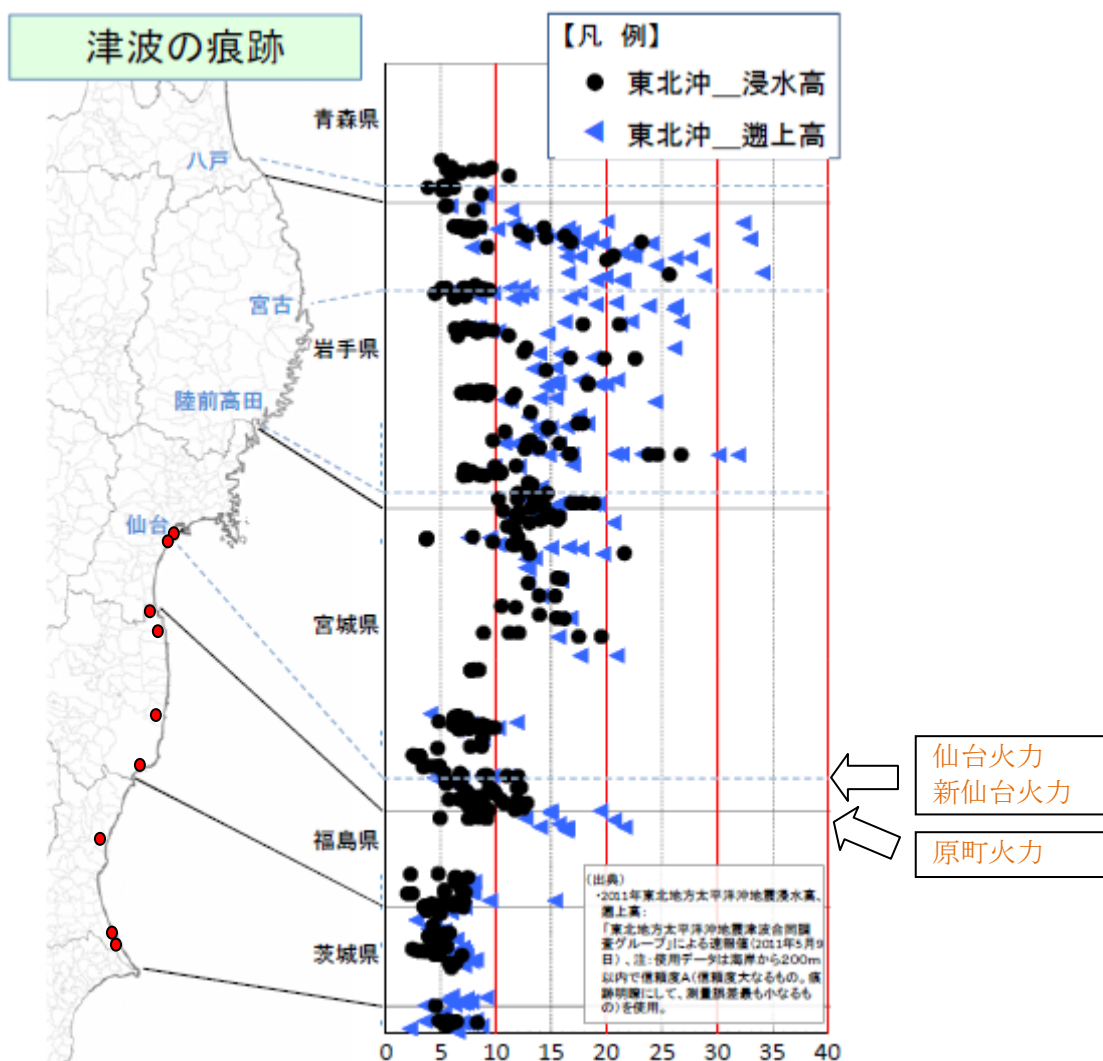


図-2.1.6 津波高さ

2. 2 火力発電所

■地震

○観測記録

- ・地中に埋設された計器はなかった。
- ・火力発電所内での計測値は回収不能となっているものを除くと、地表面では東北電力仙台発電所での値が最も大きい。(最大加速度：550gal)

地上部の計測値では、相馬共同火力新地発電所のタービン2Fでの585galが最も大きい。

- ・火力発電所近傍の計測結果を参照すると、東北電力原町発電所近傍のK-N-E-T原町での加速度が最大で735galが記録されている。

○被害状況

- ・被害原因としては、①地震力によるもの、②地震に伴う液状化に起因するもの、③津波の波力によるもの等が考えられるが、多くが津波を被っており、少なからず痕跡が喪失していることから、被害原因を特定できない場合や複合的な要因による場合が多いと推察される。
- ・土木構造物の被害としては、下記のものが挙げられる。

護岸のはらみ出し

直接基礎の沈下・傾斜・不陸

水槽類の浮上がり

取放水管（埋設管）の沈下、埋設配管等の断裂

ボックスカルバート等のクラック、目地部損傷・段差

重油タンク基礎の沈下・破損、防油堤のクラック・破損

防潮堤のクラック

道路の段差・陥没、側溝の沈下

土木構造物の被害と地表面最大加速度の関係を下図に示す。

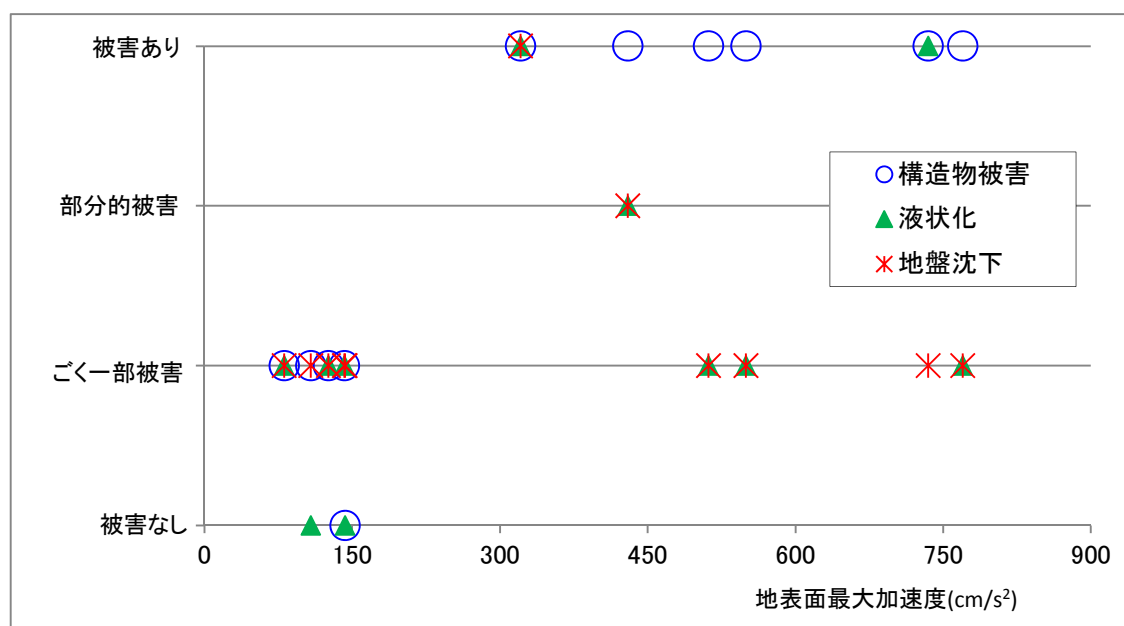












図-2.2.1 土木構造物の被害と地表面最大加速度の関係 ※原因は推定

・液状化の発生概況を下記にまとめた。

発電所名	立地地点	敷地の概要	地質・土質	地震動 (gal/観測点)	液状化の程度	(参考) 津波浸水高(m)
八戸火力		河口の埋立地	砂層(局所的にシルト介在)	143 (PS 地表面)	ごく一部 (詳細不明)	0.5
仙台火力		背後山地を切取・埋立	埋立土・沖積砂層・砂礫	550 (PS 地表面)	ごく一部 (詳細不明)	4.7
新仙台火力		小河川近傍、海浜を埋立	砂層	512 (PS 地表面)	ごく一部 (詳細不明)	3.0
相馬共同火力 (新地発電所)		扇状地・河川沿い	沖積層	371 (B/L1F)	ほぼ全域	2~3.0
原町火力		背後丘陵地を切取・埋立	埋立土・砂層・シルト	735 (K-NET 原町)	ごく一部	13.0
広野火力		背後丘陵地を切取・埋立	埋立土・沖積砂層	391 (T/B2F)	ごく一部	4.0
常盤共同火力 (勿来発電所)		河口の埋立地	沖積層 (N=50までの深さ5-35m)	356 (K-NET 勿来)	ほぼ全域	1.8
				470 (T/B2F)		

発電所名	立地地点	敷地の概要	地質・土質	地震動 (gal/観測点)	液状化の程度	(参考) 津波浸水高(m)
常陸那珂火力		外洋に突き出た埋立地 (山砂により埋立)	埋立土 (N=3-10:t=14m)・沖積砂層 (N=16-41)・シルト (N=4-13)の互層	321 (PS 地表面)	ほぼ全域	1.5
鹿島共同火力		河口近傍の埋立地	第四紀砂質土層	359 (T/B2F)	構内各所	無し
鹿島火力		河口近傍の埋立地	埋立土・沖積砂層(N値約30)・沖積砂礫の互層	430 (PS 地表面)	一部	放水路開渠から一部浸水(1m)
千葉火力		東京湾埋立地	埋立土・沖積砂層・シルトの互層	126 (PS 地表面)	ごく一部	無し
川崎火力		東京湾埋立地	埋立土・沖積砂層・シルトの互層	108 (PS 地表面)	ごく一部	無し
東扇島火力		東京湾埋立地	埋立土・沖積砂層・シルトの互層	142 (PS 地表面)	ごく一部	無し
南横浜火力		東京湾埋立地	埋立土・沖積砂層・シルト・粘土の互層	81 (PS 地表面)	ごく一部	無し

- ・地震により東北電力管内では仙台火力発電所4号機、東京電力管内では広野火力発電所全号機、常陸那珂発電所全号機、鹿島火力発電所全号機、千葉火力発電所1系列、東扇島火力1機、相馬共同火力新地発電所2号機など「タービン軸振動大」等によりが停止した。

○考察

・300gal を超える地表面加速度が計測された発電所（東北電力仙台発電所・新仙台発電所・原町発電所、東京電力広野発電所・常陸那珂発電所・鹿島発電所、相馬共同火力新地発電所、常磐共同火力勿来発電所、鹿島共同火力鹿島共同発電所）では地震による土木設備の被害が出ている。（津波の影響も受けていると考えられる。）

また、敷地が扇状地や河口等に位置し、ゆるい沖積砂層の地盤の場合、敷地全域で液状化が発生している。

土木構造物の被害は、護岸及び、直接基礎形式の構造物（機械基礎、水槽、埋設管、道路）等に集中している。

東北電力原町発電所で発生した液状化によるものと推定される取放水管の可とう管部で許容値以上の変位の発生状況を以下に示す。

（取放水管の管胴本体は健全であったが、可とう継手の変位量が、最大で管軸直角方向偏心量 17cm，管軸方向伸び 7.5cm と管軸直角方向偏心量が設計許容範囲[10cm]を超過した。）

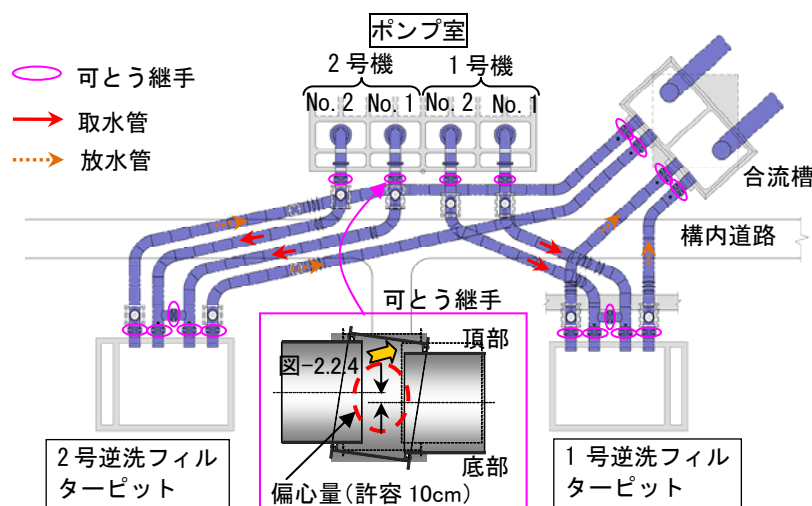


図-2.2.2 取放水管平面図

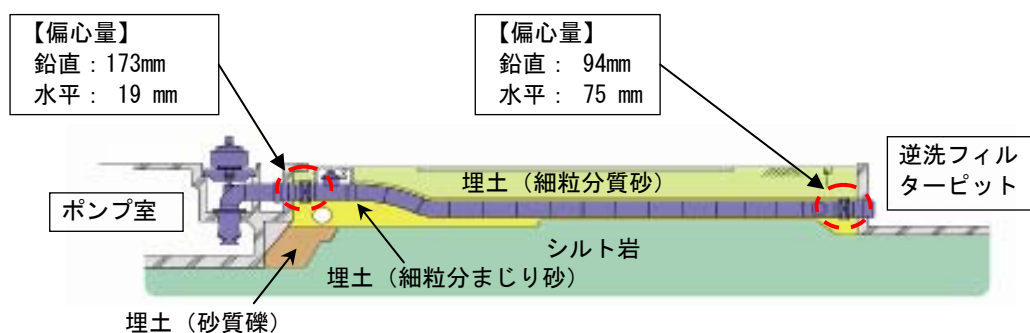


図-2.2.3 取水管縦断図（2号機 No.1 取水管）



図-2.2.4 変位状況

- ・地表面加速度が 300gal を下回る発電所でも液状化が発生している事例が認められる。(東北電力八戸発電所、東京電力千葉発電所・川崎発電所・東扇島発電所・南横浜発電所)
これは、当該地点の地盤特性による面も大きいと考えられるが、今回の地震の継続時間が長かったことにより、地震力が小さくても繰返しせん断回数が多かったため、液状化に至ったことも原因として考えられる。
- ・なお、液状化対策のための地盤改良を行っている部位に関して、液状化が発生した事例は認められない。

主な発電所における地盤改良仕様と被害状況等を下記に示す。

【東北電力八戸発電所】

重油タンク基礎（直接基礎 [敷砂利転圧]）

サンドコンパクションパイル（ $\phi 400\text{mm}$ ピッチ 1.5m）2基

バイブロフローテーションによる水締め砕石柱置替工法

（ $\phi 300\text{mm}$ ピッチ 1.5m）1基

※重油タンク基礎以外は地盤改良を行った記録はなかったが被害はなかった。

また、津波により痕跡が残っていないことから、液状化が発生したかどうかは不明。

【東北電力原町発電所】

発電所本館・ボイラー基礎（直接基礎[砕石埋立]）

基礎下面から泥岩部分までの間は砕石（ $\phi 0\sim 100$ ）で埋立後、動圧密工法

（重量 20 t，底面積 4 m^2 ，高さ 20m，5回～14回）によりN値 30 以上の砕石

埋立地盤を構築。

※泥岩が比較的浅い位置にあったことから、深い構造物は岩着となった。

また、主要な構造物が配置される箇所は、原石山から採取した砕石（ $\phi 0\sim 100$ ）

により埋立後、動圧密工法により地盤改良を実施した。

【東京電力常陸那珂発電所】 ※敷地全域の無対策箇所でも液状化が確認

軽油タンク基礎

深層混合処理

貯炭場（道床部）

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700$ ピッチ 2.1m）

放水路

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700$ ピッチ 1.7m）

水処理施設

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700$ ピッチ 1.9m）

【相馬共同火力新地発電所】

重油タンク基礎（直接基礎 [砕石リング基礎]）

載荷盛土（高さ 5.0m）

良質土置換（置換厚 4.2m）

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700\text{mm}$ ピッチ 1.4m）

軽油タンク基礎（直接基礎 [砕石リング基礎]）

良質土置換（置換厚 3.0m）

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700\text{mm}$ ピッチ 1.6m）

屋外貯炭場（パイル部）

ペーパードレン（ $94 \times 2.6\text{mm}$ 、ピッチ 1.0m）

載荷盛土（高さ 2~9m）

深層混合処理（ $\phi 1,000\text{mm}$ -4列 幅 3.6m ピッチ 1.0m）

屋外貯炭場（道床部）（RC造 [砕石強化路盤] 直接基礎）

サンドコンパクションパイル（ $\phi 700\text{mm}$ 、ピッチ 1.75m）

載荷盛土（高さ 2~4m）

※地盤改良を行わなかった部位に関しては構内各所で液状化が発生している。

- ・被災に至らなかった事例や被害軽減に寄与した事例（良好事例）を下記に示す。

【東北電力仙台火力・新仙台火力発電所】

- ・取放水路系（鉄筋コンクリート構造物 図-2.2.5）において、3.11地震後の点検において、構造上の被災はなかった。

当該構造物は想定宮城県沖地震（連動型）最大加速度 203.2gal の加速度波形により、事前照査を実施していたが、その結果、上記最大加速度の 1.5~2.0 倍で側壁下端部においてせん断破壊が発生する照査結果となっており、本構造物は想定地震規模の 1.5~2.0 倍程度の耐震裕度を有するものと推定していた。

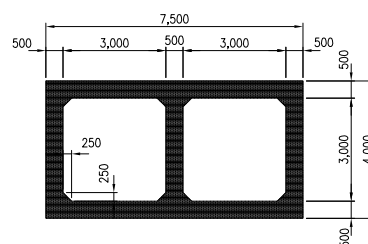


図-2.2.5 仙台火力取水路

しかしながら、3.11の観測された最大加速度は616.8galと想定地震規模の約3倍であったにも係らず、構造上の被災がなかったもので、理由として、以下の要因が考えられる。

①地盤の非線形性の影響

地盤に相対的にせん断剛性が低い層が存在することにより、この層があたかも免震構造のような動きをすることがある。仙台火力の場合、Ac層(図-2.2.6)がこうした作用をしたものと考えられ、このことが3.11地震のような大きな地震動を受けても構造物が損傷に至らなかった一因として考えられる。

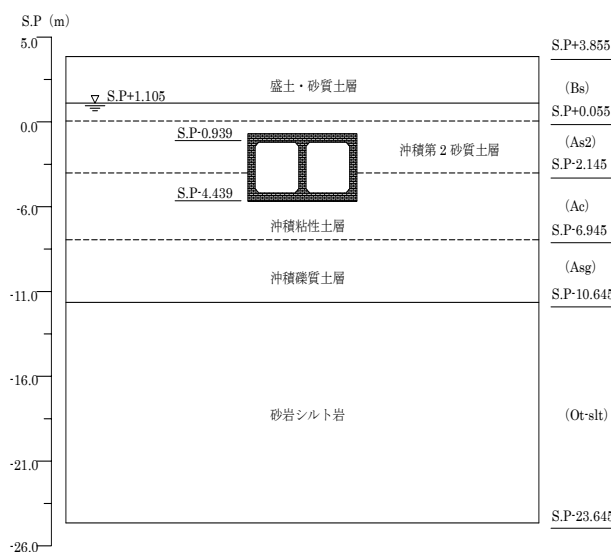


図-2.2.6 土層区分図

②せん断耐力の算定方法

今回のせん断破壊の照査において

て、分布荷重が作用する部材についてはせん断耐力式で算定されるせん断耐力を上回る照査位置のうち、照査値(発生せん断力/せん断耐力)が最も大きくなる照査位置において「等価せん断スパン比を用いた方法」でせん断照査を実施して、耐震安全性を確認したが、より合理的な方法として「材料非線形解析を用いる方法」が提案されている。一般的には「等価せん断スパン比を用いた方法」よりも10%~30%程度のせん断力が増加することが知られている。また、コンクリート物性値は調査結果に基づく実強度の最小値を用いており、この点も一因として考えられる。

※「東北地方太平洋沖地震に対する火力発電所地中構造物の耐震評価」電力土木

No. 362、2012.11 参照

【東京電力常陸那珂火力発電所】

- ・ 図-2.2.7 に示した電気洞道において、設計では液状化後の沈下量はケーブル許容変位と同程度であったが、浮上りについては所要の安全率を満足できず、変状が発生した場合には断面の連続性の確保が難しいと考えられたことから、図-2.2.8 に示すようにグラウンドアンカーにより浮上り対策を行った。
- ・ 震災後に行った測定の結果、全線にわたり浮上りは発生しておらず、沈下についても最大で約 15cm 発生していたが、延長方向の変状の推移はなだらかで目地部で段差が発生するような状態にはならなかった。

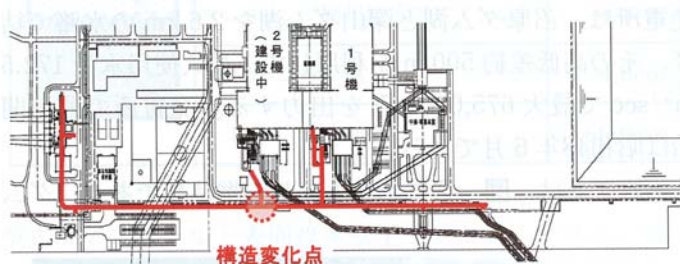


図-2.2.7 電気洞道ルート図

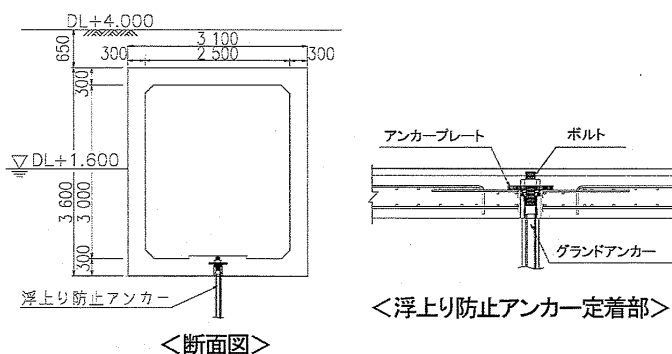


図-2.2.8 浮上り防止対策

- ・ 底版部のグラウンドアンカー定着部を確認したところ、ボルト上部の被りコンクリートが剥離した状態となっているものが何ヶ所も見られた。これは、グラウンドアンカーが基礎地盤の液状化に伴う揚圧力に抵抗した後、過剰間隙水圧消散に伴う躯体沈下によりボルト上部の被りコンクリートが上方に押されたためと推察される。
 - ・ 以上より、グラウンドアンカーは液状化に伴う浮上りに対して有効に機能したと考えられる。
 - ・ なお、躯体については微細な曲げひび割れが発生していたがせん断ひび割れが卓越するような損傷はなかった。ただし、図-2.2.7 に示す構造変化点で躯体目地部のズレが確認された。線形変化点に加え躯体下部の液状化対策工の変化点（一般部：グラウンドアンカー工法、2号機側の基礎下部：深層混合処理（CDM）工法による地盤改良）でもあったことから、地震の際に両者が異なった挙動をし、目地部の水平方向ズレが発生したと考えられる。当該箇所の変状は、躯体の連続性を損なう程の大きなものではなかったため、断面修復後に目地部の止水対策を施す補修を行った。
- ※「東京電力の火力発電所が東日本大震災による津波・液状化で受けた影響と土木設備の状況」電力土木 No. 362、2012. 11 参照

■津波

○観測記録

- ・ 9 発電所が浸水している。このうち、約 1 m 以下の浸水深は 2 発電所（東北電力八戸発電所、東京電力鹿島発電所）、約 1 m を超える浸水深は 7 発電所（東北電力仙台発電所・新仙台発電所・原町発電所、東京電力広野発電所・常陸那珂発電所、相馬共同火力新地発電所・常磐共同火力勿来発電所）である。（なお、表中の記載は浸水高となっているが、G L よりの値であるので浸水深と記載した方が正確である。）

最も大きな浸水深を観測したのは東北電力原町発電所で 13.0m 程度であり、事務本館は 3 F 上部まで冠水し壊滅的な損壊、4 F では火災が発生した。（翌日 3 月 12 日鎮火）

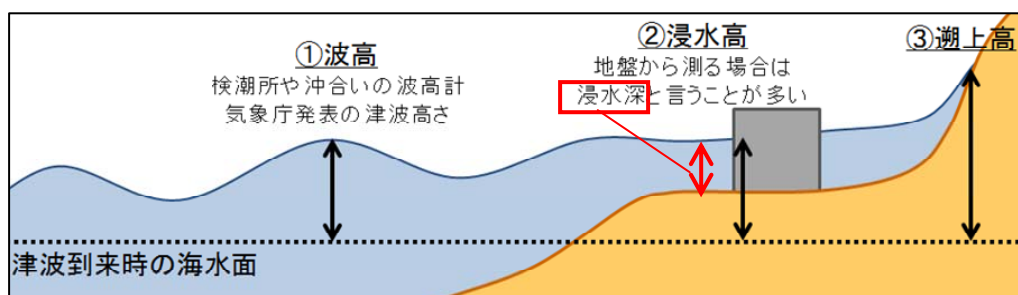


図-2.2.2 津波高さの定義

- ・ 浸水の範囲に関しては東京電力広野発電所、常陸那珂発電所、鹿島発電所での情報が得られた。（参考資料 1 火力発電所 津波浸水範囲）
これによれば、広野発電所、常陸那珂発電所はほぼ全域、鹿島発電所は放水設備付近が浸水した。
- ・ 今回のヒアリングでは津波の継続時間については情報が得られなかった。

○被害状況

- ・土木建造物の被害としては、下記のものが挙げられる。

防潮堤の転倒・損壊

深層取水設備の流出

海上設備（放水口連絡橋等）の損壊

揚炭バース床版一部損傷

重油バース施設間連絡橋流出

取水口ポンプ室や放水口連絡橋など取放水設備の損壊

敷地内全域にわたるフェンスの倒壊、構内道路の不陸・波打ち

土木建造物の被害と浸水深の関係を下図に示す。

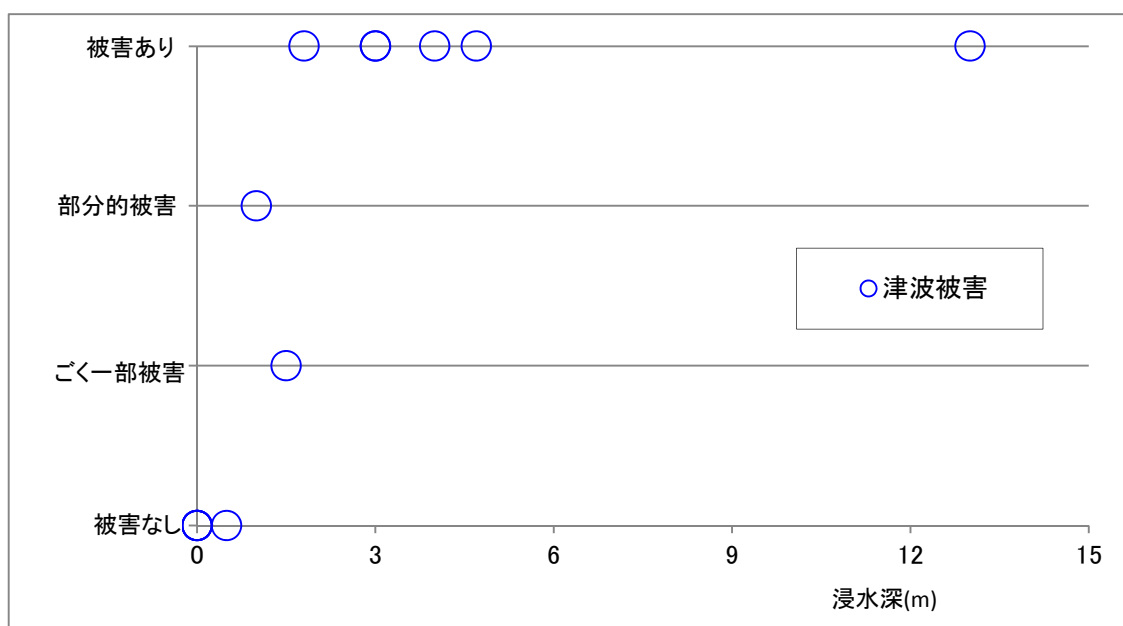


図-2.2.3 土木建造物の被害と浸水深の関係

- ・設備被害についても土木建造物との関連で特記すべきものとして、下記の回答が得られた。

接岸荷降中の石炭船の離棧および衝突等により揚炭機（アンローダー）や石炭受入コンベアなど、石炭受入れ設備に大きな被害

ボイラー給水ポンプ、各電動機、配開装置等に大きな被害

重・軽油タンク（各2基）、燃料ポンプ室、総合排水処理設備全壊

ボイラ設備：過熱器管等の耐圧部の損傷

電気設備：主変圧器、起動変圧器、所内変圧器ともに全冠水

- ・また、環境被害についても調査を行った結果、下記の2点が報告された。

東北電力原町発電所では重油タンク 9,800KL 2基、軽油タンク 900KL 2基の倒壊および防油堤の損傷により構内に重油の漏洩があった。（微生物を利用して環境汚染物質を無害な物質に分解する浄化手法であるバイオレメディエーションによる油土壌処理を実施）

※「3.11 東日本大震災の津波に伴う油付着土壌のバイオ処理」（電力土木 No. 367, 2013. 9）
において詳しく説明されている。

口相馬共同火力新地発電所では、座礁船（石炭船）より油流出が報告された。

○考察

・浸水深 1m 程度の発電所においては、津波波力による直接的な土木構造物自体の被害よりは石炭船などの漂流物による被害が報告されている。浸水深 2m 程度を越えると津波波力による被害も報告されている。

なお、国交省の津波浸水に関する建物被害調査では、鉄筋コンクリート造、鉄骨造であっても、浸水深が 2m を超えれば、損壊の割合が高くなることが示されている。

また、消防庁の津波浸水に関する屋外タンク貯蔵所被害調査でも、配管の被害は水深が概ね 3m を超えたところから発生し、タンク本体の被害被害も津波浸水深が概ね 3m を超えたところから発生し始め、7m を超えると被害の発生が顕著になる。

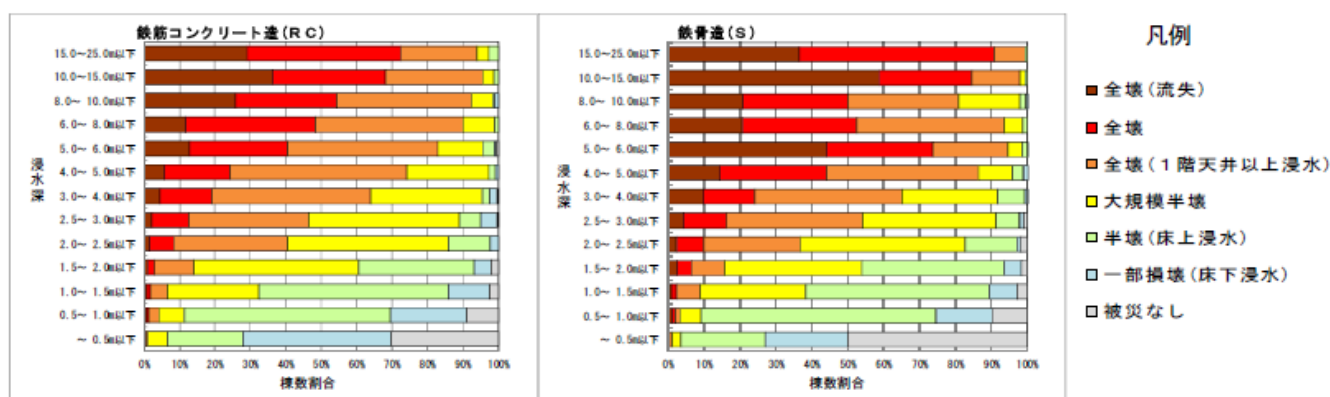


図-2.2.4 浸水深と建物被害との関係

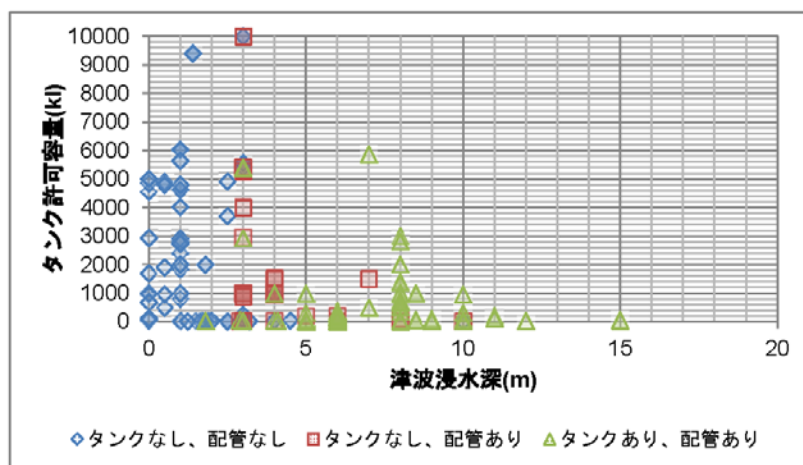


図-2.2.5 浸水深と屋外タンク貯蔵所の被害形態

「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方」に係る検討報告書 平成 23 年 12 月消防庁危険物 保安室・特殊災害室

- ・なお、被災に至らなかった事例や被害軽減に寄与した事例（良好事例）として下記のようなものが挙げられる。

【東北電力原町火力】

- ・岸壁や荷役機械等に被害を被ったものの、防波堤（台形ケーソン上部斜面堤）においては滑動・転倒といった大きな被害は見られなかった。

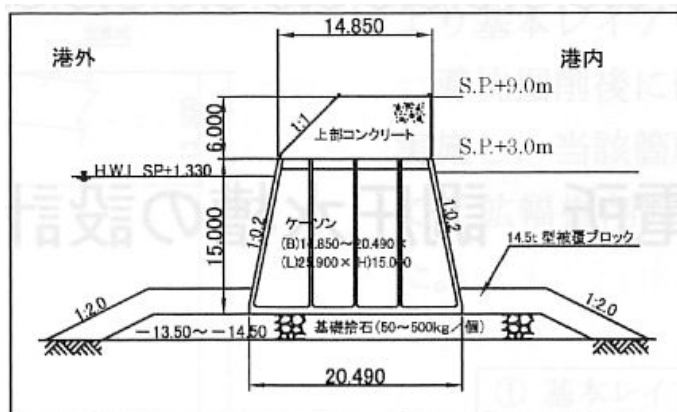
近隣港湾のケーソン堤が被災する中、被害に至らなかった要因について、下記のような考察がなされている。

- 台形ケーソン上部斜面堤の形状効果により波力の鉛直成分が滑動に有利に働いた。

（水平波力の約 26%の鉛直波力が作用し、安定性に寄与している。）

- 設計波を超える波浪に対するライフサイクルコストを考慮した裕度対策としてケーソン底面と基礎捨石の間に摩擦増大マットを敷設していた。

建設当時（平成 5 年）には摩擦増大マットの摩擦係数が港湾基準に定められていなかったため、一般的な静止摩擦係数 0.6 を用いて設計していたため、滑動安定性に設計上の裕度を有していた。（建設当時の実験結果 [静止摩擦係数 0.8] を採用することにより滑動安全率が約 34%向上）



- 上記の津波波力への安定性を有していたことに加え、越流水による港内側マウンドの洗掘が生じなかったことが重要と考えられる。これは、上部工の形状により水流の打ち込み角度が水平方向になったこと、基礎マウンドを消波ブロックの乱積で被覆していたため流れや揚圧力に対して安定であったためと推定される。

※「東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策」電力土木 No. 360, 2012. 7 参照

2. 3 水力発電所

■地震

○損傷が認められた施設と震度階

- ・ 損傷が認められた 8 発電所の位置と震度の位置関係を図-2.3.1 に示す。

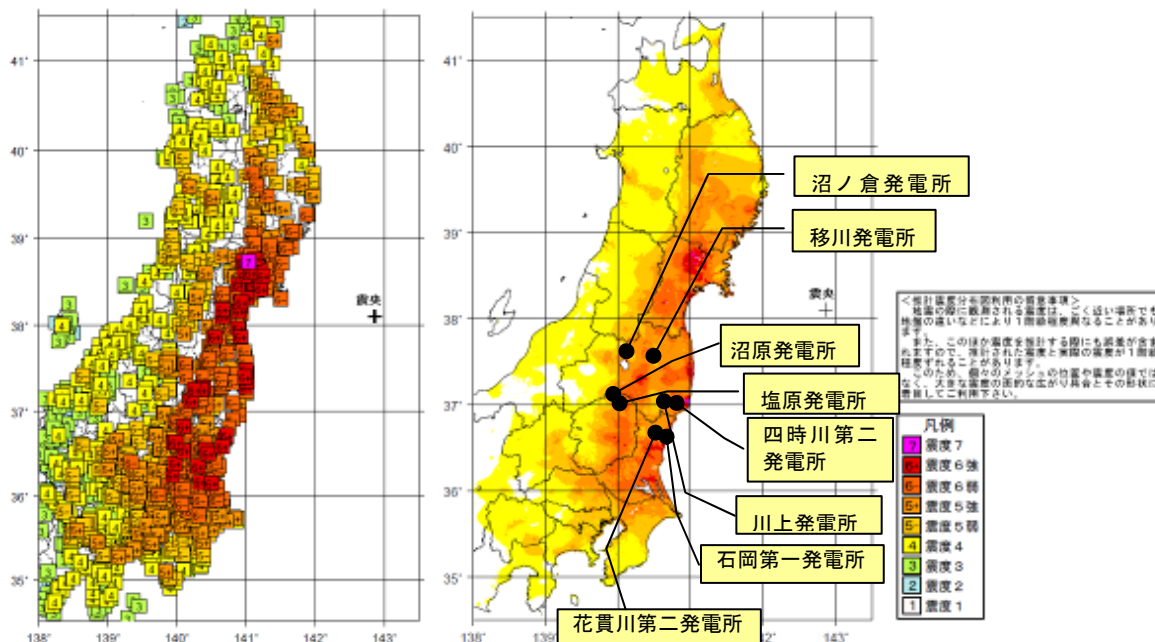


図-2.3.1 震度と調査対象発電設備の位置 震度分布出典：気象庁

○観測記録

- ・ 各発電設備に設置された地震計により設備設置地点で地震観測が記録されたのは 2 地点である。

塩原発電所 八汐ダム最大加速度

53gal (ダム基礎ダム軸方向)、 253gal (ダム天端上下流方向)

沼原発電所 沼原ダム最大加速度

210gal (ダム基礎ダム軸直角方向)、 382gal (ダム天端ダム軸直角方向)

塩原、沼原発電所とも、ダム基礎となる堅硬な岩盤では 1,000gal を超える非常に強い揺れは観測されていない。

- ・ その他の施設では計測計器がなく、観測記録はない。近傍の K-NET での記録では、表-2.3.1 の通りである。

表-2.3.1 各発電所近傍の K-NET 記録

発電設備	NS	EW	UD	計測箇所
四時川発電所	374gal	312gal	300gal	K-NET FKS011(いわき)
移川発電所	1011gal	1069gal	327gal	K-NET FKS008(船引)
川上発電所	296gal	353gal	222gal	K-NET FKS013(古殿)
沼ノ倉発電所	241gal	276gal	96gal	k-NET FKS020(猪苗代)
石岡第一発電所	525gal	588gal	496gal	K-NET IBR002(高萩)
花貫川第二発電所	525gal	588gal	496gal	K-NET IBR002(高萩)

○被害状況

- ・ダム（堰）自体の安定性に影響を及ぼす大規模な亀裂、すべり、沈下、変位等のダム（堰）自体の損傷・・・ゼロ
- ・遮水機能の低下を伴う遮水壁（表面遮水壁）の損傷・・・・・・・・2発電所
- ・ダム（堰）以外の設備の沈下、亀裂、変位等の損傷
- ・周辺地山崩壊を伴い影響を受けた水路工作物（水槽、導水路、水圧管路）の損傷・4発電所
- ・周辺地山崩壊を伴わない水路工作物（水槽、導水路、水圧管路の損傷）・・・・・・・・2発電所

- ・復旧に当たって国有林保安林解除等、許認可手続きが必要な発電所においては、1年以上経過した時点においても復旧が完了していない事例もある。

○原因と考察

- ・ダム水路式発電所の損傷事例としては、2つの表面遮水壁型ロックフィルダムにおいてダム自体に損傷はないが、表層のアスファルト遮水壁に亀裂に生じ遮水機能が低下したことが特徴的な損傷である。
- ・一般的に、アスファルトは変形追従性に優れた材料とされているが、その特性は温度条件や歪速度に非常に依存することが知られている。
- ・今回の地震が発生した3月中旬はかなり外気温が低い状態であり、アスファルトの限界歪（破壊歪）も常温時に比較して小さい値であったことが容易に推定できる。

<八汐>

- ・八汐ダムは設計段階では既往最大の地震（加速度レベルで266gal）を想定しており、遮水壁に生じるひずみは材料の降伏ひずみを超えないと評価していたが、今回はこれを下回る加速度レベルの地震で損傷が生じた。このため、ひび割れ発生メカニズムについて、補修工の安定性も含めて分析・検討を行っているところである。

<沼原>

- ・ 今回の損傷は、地震力によりダム堤体が大きく変位したことにより堤体表面のアスファルト遮水壁にも堤体変位に追随するためかなり大きな歪が生じ、外気温が低かったためにアスファルトの限界歪（破壊歪）を超えたものと推定される。

- ・ 水路式（流れ込み式）発電所の損傷事例としては、水路工作物（水槽、導水路、水圧管路）が地山の崩壊や滑りに起因して損傷を受ける事例が多いが、水槽の亀裂発生による漏水が引き金となって工作物の基礎が侵食され、損傷が拡大したと考えられる事例もある。
- ・ 水路式発電所の場合、水路長が数キロに及ぶこともあることから、水路周辺の地山性状も場所場所で異なり、水路沿いの地山においては地震耐力が低い地盤も存在していたことが推定できる。

2. 4 変電・送電・配電設備等

※「電気設備地震対策ワーキンググループ報告書」平成24年3月（原子力安全・保安部会電力安全小委員会）より抜粋

■被害の概要

- ・地震及び津波による電気設備の被害数・設備数は、表-2.4.1&2.4.2のとおりである。
- ・東北電力が保有する変電所615箇所のうち75箇所、架空送電鉄塔28,205基のうち46基に被害を受けた。東京電力が保有する変電所1,592箇所のうち134箇所、架空送電鉄塔30,555基のうち15基に被害を受けた。

表-2.4.1 会社別・設備別の被害数・被害率①（地震・津波）

設備	東京電力		東北電力		(参考) 兵庫県南部地震 (関西電力) (地震による被害のみ)		
	被害数/設備数 ※1	被害率	被害数/設備数 ※1	被害率	被害数/設備数 ※1	被害率	
火力発電設備 (基)	14/ 81	17%	5/ 20	25%	20/ 64	31%	
変電設備 (配電用含む)	変圧器 (台)	17/ 2,997	0.57%	30/ 1,712	1.8%	-	6.9%※2
	遮断器 (台)	11/ 3,180	0.35%	4/ 4,104	0.10%	-	1.3%※2
	断路器 (台)	104/ 8,388	1.2%	32/ 6,975	0.46%	-	1.1%※2
架空送電設備	鉄塔 (基)	(地震による被害のみ)		46/ 28,205	0.16%	20/ 10,765	0.19%
地中送電設備	ケーブル (回線)	30/ 3,714	0.81%	20/ 472	4.2%	385/ 5,795(条)※3	6.6%
架空配電設備	電柱 (基)	14,288/ 5,818,237	0.25%	36,048/ 3,038,915	1.2%	11,289 (被害数のみ)	0.5%

※1 被害数：被害のあった設備の数

(ただし、変電設備は使用不能となった設備の数、架空・地中送電設備は早急復旧を要する設備の数)

設備数：東京電力、東北電力、関西電力が保有する設備の数

(変電・架空送電・地中送電設備については、震度5弱以上の地域における設備の数)

※2 被害のあった変電所50カ所の設備に対する使用不能となった設備の被害率

※3 設備数は平成7年時の調査数であり、また単位は(条)であるため、今回調査と単純な比較はできない(例えば、同一回線で5カ所に被害があった場合、今回調査では1(回線)、平成7年時調査では5(条)とカウントされる)。

表-2.4.2 会社別・設備別の被害数・被害率②（地震のみ）

設備		東京電力		東北電力		兵庫県南部地震 (関西電力)	
		被害数/設備数 ※1	被害率	被害数/設備数 ※1	被害率	被害数/設備数 ※1	被害率
架空送 電設備	鉄塔 (基)	15/ 30,555	0.05%	6/ 28,205	0.02%	20/ 10,765	0.19%
	碍子 (基)	41/ 30,555	0.13%	17/ 28,205	0.06%	39/ 10,765	0.36%
地中送 電設備	ケーブル (回線)	28/ 3,714	0.75%	11/ 472	2.3%	385/ 5,795(条)※2	6.6%
架空配 電設備	電柱 (基)	14,280/ 5,818,237	0.25%	8,525/ 3,038,915	0.28%	11,289 (被害数のみ)	0.5%
	電線 (径間)	138/ 6,416,762	0.002%	1,456/ 2,151,329	0.07%	7,760 (被害数のみ)	0.3%

※1 被害数：被害のあった設備の数

(ただし、地中送電設備は早急復旧を要する設備の数)

設備数：東京電力、東北電力、関西電力が保有する設備の数

(架空送電設備・地中送電設備については、震度5弱以上の地域における設備の数)

※2 設備数は平成7年時の調査数であり、また単位は(条)であるため、今回調査と単純な比較はできない(例えば、同一回線で5カ所に被害があった場合、今回調査では1(回線)、平成7年時調査では5(条)とカウントされる)。

■地震

○被害状況

- ・変電設備に関しては、変圧器のブッシングの漏油、破損、遮断器の碍子の破損、断路器の碍子の破損等が発生した。特に、275kV及び154kV変圧器、275kV遮断器、500kV、275kV及び154kV断路器の被害率が、他機器に比べ相対的に高かった。
ただし、運転継続不可能となった被害は少なかった。
- ・架空送電設備については、地震動により、倒壊・折損等の送電機能を喪失する鉄塔被害はなかった。なお、鉄塔近傍の盛土の崩壊による土砂により、1基の鉄塔が倒壊した。
碍子については、支持碍子が折損した。ただし、長期間にわたって運転継続不可能となった被害はなかった。
- ・地中送電設備については、ケーブルが受け金物から脱落するなどの軽微な被害がほとんどであり、通電不能となったものはない(津波による変電所被害による通電不能を除く。)
- ・架空配電設備の倒壊被害は、津波及び地盤被害によるものであり、地震動による被害は発生していない。また、これらの被害に伴う感電など公衆災害も発生していない。
- ・地中配電設備については、損傷による停電が東京電力において2件発生したが、長期的かつ広範囲の停電は発生していない。

(参考) 東京電力夜の森線 No. 27 鉄塔近傍の盛土の崩壊原因について

今般の地震の際に、東京電力福島第一原子力発電所に接続される夜の森線（66kV）の No. 27 鉄塔が近傍の盛土の崩壊に巻き込まれて倒壊した。（下図参照）

この倒壊は地震動によるものではないが、東京電力が実施した盛土崩壊の原因分析では、盛土崩壊のメカニズムについて分析されており、知見の蓄積として有用であるため、本事例を挙げた。

- ・崩壊した盛土は、沢を埋め、高さ約 30m、斜面の勾配約 18 度で昭和 40 年代前半に造成されたものであり、被害発生状況は以下のとおり。
- ・盛土の土砂の流入により、鉄塔は電線に引っ張られる形で盛土方向に倒壊。
- ・夜の森線の送電停止時刻と地震動の観測波形等を考慮すると、地震動の最大加速度が発生した時点で盛土は崩壊せず、20 秒以上後に崩壊したと推定。



崩壊した盛土の位置



鉄塔の倒壊状況

- ・盛土地盤の調査結果、以下のとおり推定される。
 - ・崩壊箇所の地盤強度が特に弱かったとはいえない。
 - ・崩壊した箇所の地下水位は、旧地表より高く、盛土内の位置にある。
- ・今回の地震の継続時間が非常に長かったこと及び盛土内に地下水位が存在していたことより、地下水位下の地盤強度の低下を反映して解析を実施した結果、静的・動的解析ともに安全率は大きく低下し、滑りが発生することが判明した。

解析手法	地震動	最小すべり安全率
静的解析	道路土工基準	0.681
動的解析	構内北地点の地震波形	0.665

- ・このことから、今回、盛土が崩壊した原因は、沢を埋めた盛土中に地下水位が存在する状況において、強く長い地震動の繰り返し応力が作用したことにより、地盤の強度が低下したことによるものと推定される。

■津波

○被害状況

- ・変電所のうち、沿岸部の変電所では構内への浸水により設備が使用不可能となる被害、周辺構造物のがれきや車両の流入等による機器の損壊、また設備の流出が発生した。
- ・送電設備については、鉄塔下部への流入物による影響と推測される鉄塔の倒壊等の被害が発生し、配電設備についても漂流物の衝突によると推定される電柱の流失、倒壊、折損が発生した。地中送電設備については津波による変電所等の地上機器の漂流物による被害により、地中配電設備については地上機器の漂流物による倒壊や冠水により、送電不能が発生した。

2. 5 ガス施設

ガス施設における地震ならびに津波の状況は以下のとおりである。

■地震

仙台市ガス局 港工場での観測記録

- ・最大加速度 615gal(熱調計器室)
- 514gal(コントロールセンター)

■津波

仙台市ガス局 港工場

- ・浸水深 GL+3~4m(推定) 15:50
- 南東方向(外港)より押し寄せ、構内全域において地盤面が冠水。4km内陸まで浸水。

一般ガス事業における供給停止事業者及び津波浸水エリアの概要

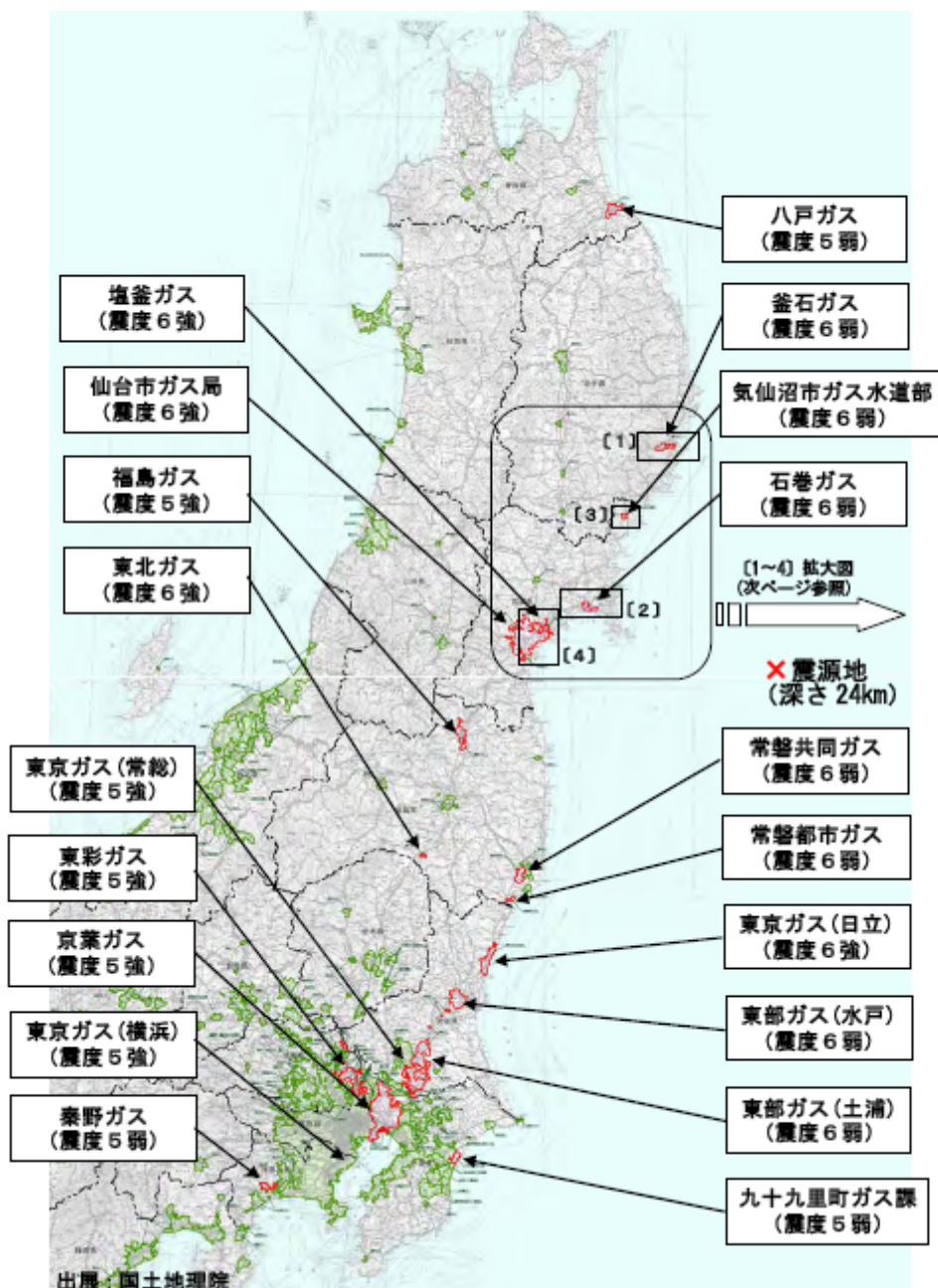


図-2.5.1 供給停止事業者及び震度階

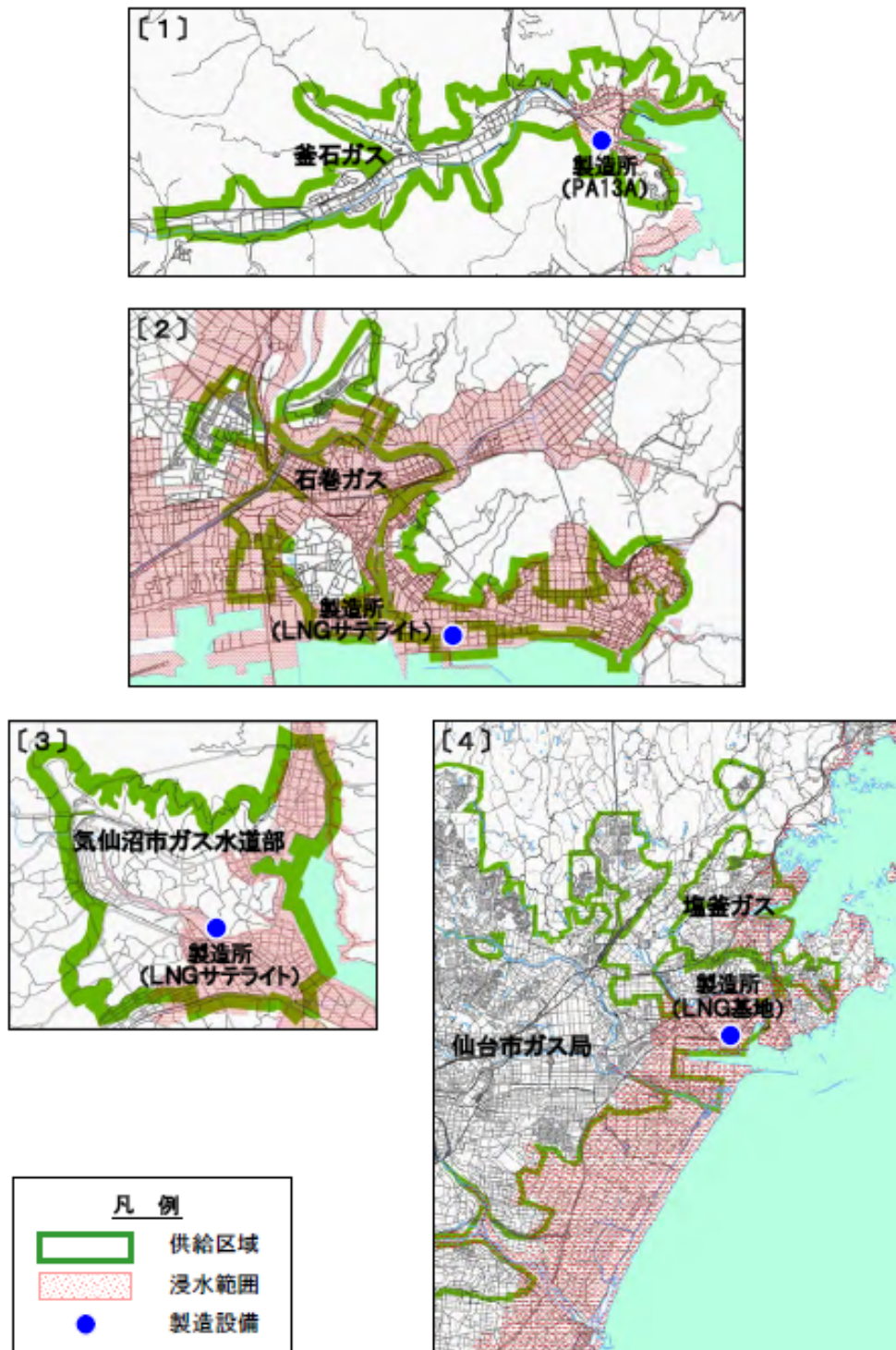
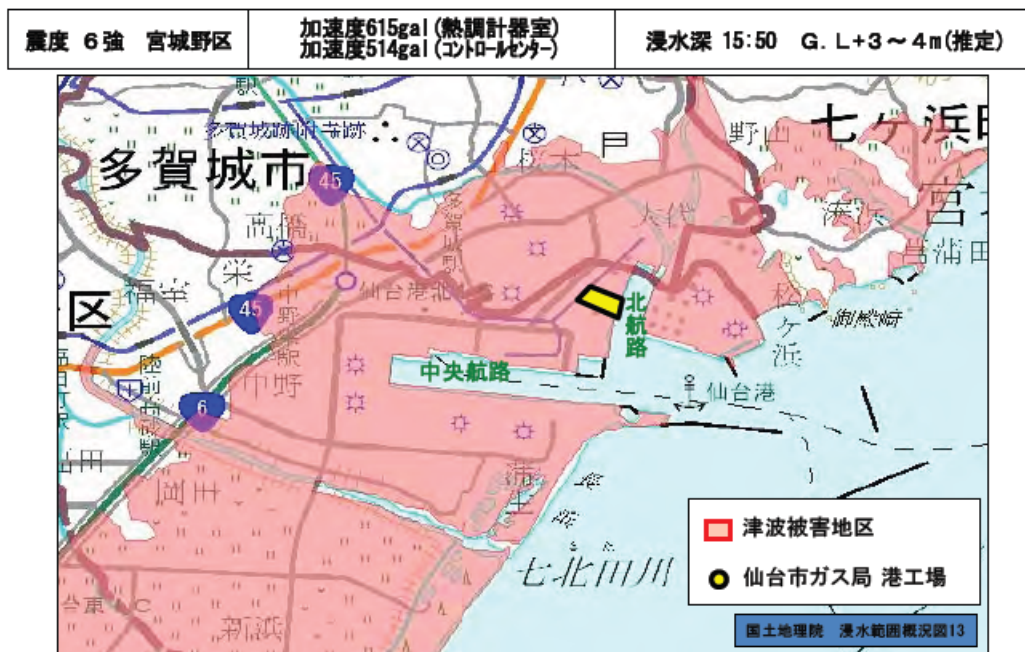


図-2.5.2 供給区域内における津波の浸水範囲

1.1 仙台市ガス局 港工場の拡大位置



1.2 仙台市ガス局 港工場内の配置



図-2.5.3 仙台市ガス局港工場の津波被害

■被害概要

東日本大震災による都市ガスの供給の被害概要を表-2.5.1に示す。
とりまとめ対象は、以下のとおりである。

・一般ガス事業

今回の地震で供給区域に震度5弱以上があった77事業者

・簡易ガス事業

供給区域に震度5弱以上があった1,858地点群のうち、ガス工作物に被害を受けて供給停止に至った74地点群中60地点群。今回まとめられなかった14地点群は供給区域が原子力発電所の事故による避難地域に指定された7地点群や津波により地域全体が壊滅的な被害を受け、住民が避難した7地点群であり、被害状況の把握が困難なため、これらを除いている。

・仙台市ガス局（一般ガス事業）の供給停止状況

地震発生後の午後3時25分、保安規程に基づき、仙台市ガス局供給エリア11ブロックのうち、地震計の測定値（SI）が60kine以上を記録した3ブロック（約7.5万戸）のガス供給を緊急停止、この時点では他のブロックのガスの供給は継続。この緊急停止の1時間後、ガスを製造している港工場が津波で冠水し、ガス製造設備が使用できなくなったため、全供給区域のガスを停止した。

表-2.5.1 東日本大震災による都市ガス供給の被害概要

		一般ガス事業		簡易ガス事業	ガス導管事業
被害を受けた事業者数		供給停止16社 (8県)	その他61社 (15都県)*2	37社74地点群 (7県)	2社 (2県)
供給停止戸数		462,528	なし	19,466	2*7
ガスホルダー		被害なし*3	被害なし	—	—
導管 *1	高圧	被害なし	被害なし	—	被害なし
	中圧	13箇所*4	9箇所*5	—	—
	低圧 *6	679箇所(本支管) 6,726本(供内管)	95箇所(本支管) 406本(供内管)	154箇所(本支管) 179本(供内管)	—
製造所		<ul style="list-style-type: none"> ・津波によるLNG基地等の損傷・浸水(電気・計装設備、地上配管等)(5事業者) ・管理建屋浸水(4事業者) ・護岸コンクリートの破損(1事業者) 	被害なし	<ul style="list-style-type: none"> ・特定製造所建屋被害(6カ所):全壊は2カ所 ・同内部被害(10カ所):9カ所で容器転倒 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋浸水(1事業者) ・電気設備冠水(2事業者)

*1: 導管の被害数は、漏えい箇所数

*2: 震度5弱以上で供給継続を実施した事業者数

*3: 球形ガスホルダーの支持構造部及び基礎の損傷(1事業者)があったが、本体耐圧部の損傷及びガス漏えいなし。有水式ガスホルダーのガイドローラ一部の外れ等(3事業者)があったが、気密性は維持され、ガス漏えいなし。

*4: 13箇所のうち10箇所については、導管のループ化等により供給停止なし。

*5: 被害箇所の前後を遮断したものの、導管のループ化等により9箇所全てにおいて供給停止なし。

*6: 導管のループ化等により供給停止を伴わないものも含む。

*7: ガス事業法に基づく供給先の停止数

【一般ガス事業】一般の需要に応じ導管によりガスを供給する事業(簡易ガス事業を除く。)をいう。

【簡易ガス事業】一般の需要に応じ、ガス事業法施行令で定める簡易なガス発生設備(特定ガス発生設備)においてガスを発生させ、導管によりこれを供給する事業であって、一の団地内におけるガスの供給地点の数が70以上のものをいう。

【ガス導管事業】自らが維持し、及び運用する特定導管(ガス事業法施行規則で定める規模以上の供給能力を有する導管をいう。)によりガスの供給(ガスを供給する事業を営む他の者に対するもの及び大口供給に限る。)を行う事業(簡易ガス事業及び一般ガス事業者がその供給区域内において行うものを除く。)をいう。

【高圧】ガスによる圧力であって、1MPa以上の圧力(ゲージ圧力をいう。以下同じ。)をいう。

【中圧】ガスによる圧力であって、0.1MPa以上1MPa未満の圧力をいう。

【低圧】ガスによる圧力であって、0.1MPa未満の圧力をいう。

■仙台市ガス局 港工場における被害

地震による被害

- ・土木構造物に特に被害はなかった。

津波による被害

- ・配管・架構類について、杭基礎のある配管・架構類には被害がなかったが、杭基礎以外の基礎の配管・架構類の一部が損傷した。
- ・小形の鉄骨造の建造物は、基礎のみを残し流失した。
- ・海水取水路は隣接事業者の防液堤の影響で津波流れが集中し、洗掘被害が大きかった。
- ・他所からの漂流物が衝突しての被害はなかった。
- ・構内全域において洗掘がみられた。設備・建屋の基礎周囲で洗掘が認められた。
- ・津波流れが集中する箇所は、洗掘被害が大きい。
- ・洗掘により直接基礎は倒壊したものが認められたが、杭基礎設備は健全であった。
- ・地上から地中への配管は、周囲が洗掘されたものの配管は健全であった。
- ・基礎周囲が未舗装（砕石敷き等）だと洗掘されやすい。
- ・海水取水路に土砂が堆積し、取水不能となった。

第3章 従来の設計手法に対する評価

3. 1 火力発電所

■地震

既存の発電所の土木構造物に関しては、震度法で設計されているものも多く、計測された加速度や速度と直接比較することは難しい。

但し、

- ・計測された地表面での最大加速度が 735gal、450gal を超える発電所も 4 地点と、設計法等も異なるため直接的には比較はできないが、下記のいずれの設計水平震度も上回っていると考えられる。

【阪神大震災 [1995 年] 以前】

- ・許容応力度法
- ・設計水平震度 $kh=0.1\sim 0.3$

【阪神大震災以降】 ※「JEAC3605-2009_火力発電所の耐震設計規程」（日本電気協会）

- ・限界状態設計法
- ・レベル 1 地震動 : 地表面の設計水平震度 $kh=0.16\sim 0.3$
- ・レベル 2 地震動 [プレート境界型] : 地表面の設計水平震度 $kh=0.3\sim 0.4$
- (レベル 2 地震動 [直下型]) : 地表面の設計水平震度 $kh=0.6\sim 0.8$ ※

(上記の震度は道路橋示方書を適用した場合の参考値)

※ 今回の地震はプレート境界型

実被害の面でも、地表面最大加速度が 300gal を上回る発電所では地震によると思われる被害が発生している。

- ・地表面最大加速度が 300gal を下回る発電所においても、無対策箇所では液状化の発生が確認されているが土木構造物の被害は軽微である。
一方、液状化対策として地盤改良を行っていた構造物についてはいずれの箇所も液状化被害を受けていない。(相馬共同火力新地発電所他)
- ・地震による被害(液状化も含めて)で、人命に重大な影響を与えたという報告はなく、復旧に長期間を要しているものもほとんど認められない。
- ・一方、東北地方太平洋沖地震では、港湾構造物や地中構造物に大きな影響を与える 1~3 秒程度の周期成分が小さな地震動であったことが指摘されており、今回と同等の地震であってもより港湾構造物や地中構造物に大きな影響を与える地震動が発生することも否定はできない。

また、電気設備、危険物施設の観点で下記のとおり報告されている。

○「原子力安全・保安部会 電力安全小委員会 電気設備地震対策ワーキンググループ報告書」
(平成 24 年 3 月)

この中では、火力発電所及び関連する設備に関する今後の対応として、下記が示されている。

【LNGタンク、油タンク：耐震性区分Ⅰ※】

- ・人命に重大な影響を与える可能性のある被害は発生しておらず、求められていた耐震性は確保されていると判断できる。

【火力発電設備（発電所建屋、ボイラー等）：耐震性区分Ⅱ※】

- ・著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が発生していないことから、電力供給システムとして、総合的にシステムの機能が確保される耐震性を有していたと考えられる。この観点からも現行の民間設計基準は妥当であると考えられる。
- ・ただし、今回得られた知見を含め、地震動及び地震動による被害実績のデータの蓄積を図り、必要に応じ民間設計基準の検討を進めることが必要である。

※耐震性区分Ⅰ

対象設備：一旦機能喪失した場合に人命に重大な影響を与える可能性のある設備
(ダム、LNGタンク（地上式、地下式）、油タンク)

確保すべき耐震性：

- 一般的な地震動に際し個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと
- 高レベルの地震動に際しても人命に重大な影響を与えないこと

耐震性区分Ⅱ

対象設備：耐震性区分Ⅰ以外の電気設備

(水路等、水タンク、発電所建屋・煙突、ボイラー及び付属設備、護岸、取放水設備、変電設備、架空・地中送電設備、架空・地中配電設備、給電所、電力保安通信設備)

確保すべき耐震性：

- 一般的な地震動に際し個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと
- 高レベルの地震動に際しても著しい（長期的かつ広域的）供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能が確保されること

○「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書」（消防庁危険物保安室 平成 23 年 12 月）

この中では、地震被害を踏まえた地震対策のあり方として、下記が示されている。

【危険物施設】

- ・地震の揺れによる危険物施設の配管や構築物等が破損する被害が発生していることから、施設の基準適合の状況や維持管理の状況を含め、事業者自らが配管等の耐震性能、液状化の可能性等を再確認することが必要である。
- ・地震による基礎地盤の沈下被害は特異な事例 2 基で発生していることから、事業者に対して被災事例の特徴を周知する必要がある。

【石油コンビナート施設等】

[発生頻度が高い地震]

- ・機能が維持されること。ただし、応急措置により直ちに機能を回復できるのであれば、軽微な損傷の発生はさしつかえない。

[甚大な被害をもたらす発生頻度が低い地震]

- ・応急措置又は代替措置により、機能を速やかに回復することができるように計画を策定する。

これらを踏まえると、第三者災害防止の観点からみれば、従来の設計とほぼ同程度の耐震性能を有すれば、今回程度の地震に関しては特に大きな問題は生じないと推定される。

一方で、今般地震のように設計を上回るような高レベル地震動に対しては著しい（長期間かつ広範囲）供給支障が生じることのないよう、代替性の確保・多重化等により総合的にシステム機能を確保すべく、設備の要求性能の応じた適切な耐震性能を設定し、復旧に長期間を要するような損傷に至らないようにすることが大切である。

■津波

津波被害に大きな要因を占める発電所の敷地高さについては、下記のような考え方で設定されていた。

- ・東北電力各発電所 : 観測された最大の津波を考慮して設定
- ・東京電力各発電所 : 地点毎に過去に発生した津波や低気圧等による高潮時の最高潮位を考慮して設定。
- ・相馬共同発電所 : 高潮等を想定して設定。
- ・鹿島共同発電所 : 過去に発生した津波や低気圧等による高潮時の最高潮位を考慮して設定。

しかし、下記の9発電所で被害を受けている。

- ・東北電力 八戸、仙台、新仙台、原町
- ・東京電力 広野、常陸那珂、鹿島
- ・相馬共同火力
- ・常磐共同火力

ちなみに、電力土木技術協会編「火力・原子力発電所土木構造物の設計」では敷地地盤高の設定に関して下記のような記載がある。

敷地地盤高は、発電所の主要機器・構造物の配置から必要な地盤高と既往の資料から推定される最高潮位に余裕高を加えて求まる地盤高とを比較検討して決定する。既往最高潮位から求める場合は、既往最高潮位に1～2m程度の余裕高を加えた高さとするのが一般的である。

火力発電所は、敷地地盤高が一定の所が多く標高4m程度である。一方、原子力発電所は、地山の切取量を削減するため敷地地盤高が一定でない場合もある。特に主要機器が設置される場所は、津波や波浪に対しても十分な地盤高になっている。しかし、埋立てによって敷地を造成する場合は、地盤高を高くすると工事費が高くなったり、さらには、復水器冷却系の循環水ポンプの揚程が高くなりその運転経費が増加するなど問題点もあるので、敷地地盤高の検討は慎重に行わなければならない。

また、軟弱地盤では圧密沈下等についても十分考慮して高さを決める必要がある。

今回の調査でも浸水深2m程度を越えると土木構造物自体の被害も報告されている。また重油タンクからの漏油などの環境被害も生じている。

以上のことから、下記のような基準や報告も踏まえて、津波に関する設計手法に関しては見直しが必要と考える。

○「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」（中央防災会議，平成23年9月28日）

この中では、次の二つのレベルの津波を想定することが提言されている。

- ・50年から150年に一度程度来襲する津波であり、防潮堤などの施設で被害をシャットアウトする防災を実現する。
- ・それを上回る極低頻度の巨大津波に対しては、減災の考え方に基づく多重防御を基本とし、被害の最小化を主眼とする減災の考え方に基づき、海岸保全施設などのハード対策とハザードマップや避難路の充実による避難を中心としたソフト対策を組み合わせ実施する。

○「設計津波の水位の設定方法等について」～復興計画策定の基礎となる海岸堤防の高さ決定の基準～（国土交通省，平成23年7月11日）

この中では下記のような「設計津波」の水位設定の考え方（作業手順）が示されている。

- ・設計津波は、地域海岸ごとに設定することを基本とする。

【地域海岸】沿岸域を「湾の形状や山付け等の自然条件」等から勘案して、一連のまとまりのある海岸線に分割したもの。

- ・下記の手順で設定を行う。

- ①過去に発生した津波の実績津波高さの整理
- ②シミュレーションによる津波高さの算出
- ③設計津波の対象津波群の設定
- ④「設計津波の水位」の設定

○「原子力安全・保安部会 電力安全小委員会 電気設備地震対策ワーキンググループ報告書（平成24年3月）

この中では、火力発電所及び関連する設備に関する今後の対応として、下記が示されている。

【LNGタンク、油タンク】

（頻度の高い津波）

- ・個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないよう対策を施す。
- ・現行の敷地高さ、防潮堤の有効性の確認を行う。

（最大クラスの津波）

- ・人命に重大な影響を与えないよう類似の石油コンビナート等との整合をとった対策を行う。

【火力発電設備（発電所建屋、ボイラー等）】

（頻度の高い津波）

- ・被害の想定を踏まえ、従来の対策の有効性を確認する。

（最大クラスの津波）

- ・供給力確保の観点から、個々の設備の重要度や地域毎の被害想定を踏まえ、復旧の迅速化を図るための対応を進める。

- 「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書」（消防庁危険物保安室 平成 23 年 12 月）

この中では、津波被害を踏まえた津波対策のあり方として、下記が示されている。

【危険物施設】

- ・津波の発生を念頭に置いた防災対策が十分に講じられていないことから、津波が発生する恐れのある状況において、従業員等が避難する際の緊急停止措置等の対応について予防規程等に明記することが必要である。
- ・津波の発生を念頭に置いた予防措置を予防規程に明記する際には、津波シミュレーションを活用した被害想定を行った上で行う必要がある。

【石油コンビナート施設等】

[発生頻度が高い地震]

- ・直ちに復旧できるようにするために、浸水対策を講ずるとともに、応急措置の準備を行う。

[甚大な被害をもたらす発生頻度が低い地震]

- ・応急措置又は代替措置により、機能を速やかに回復することができるように計画を策定する。

- 「東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策」（電力土木 No. 360, 2012. 7）

この中では、津波波力は、原町発電所のケーソン防波堤を対象に、合田式による設計波力（波浪）の約 1.3 倍の波力であったとの考察がなされている。

- 「防波堤に作用する津波流体力に関する水理模型実験」（電力土木 No. 364, 2013. 3）

この中では、砂丘堤防が存在する場合の防波堤に作用する流体力等に関して、下記が示されている。

- ・防波堤に作用する流体力は、防波堤前面における水位が最大となる時刻付近の波力が最も大きく、その圧力分布は津波衝突後の重複波状態における最大水位時の静水圧分布と同等である。
- ・砂丘堤防の有無が防波壁に及ぼす影響を確認したところ、砂丘堤防を大きく越流する津波については、防波壁に作用する最大波力により大きな違いは見られなかった。
- ・移動床実験結果より、防波壁には砂丘堤防陸側斜面の浸食（洗掘）に対する防護効果がある。

- 「遠心模型実験による防波壁の地震時挙動の検討」（電力土木 No. 365, 2013. 5）

この中では、防波堤の地震時挙動を明らかにするため遠心載荷装置による地盤—構造物連成系の振動実験を行い、実機レベルで主要動継続時間が 90 秒以上、最大加速度が 1,800～2,300gal 程度の入力地震波で加振しても、防波壁のたて壁の変位および基礎のひずみなどに特異な現象は見られず、十分な耐震性を有していることが確認されている。

- 「陸上構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波圧の算定方法」（電力土木 No. 365, 2013. 5）

この中では、陸上構造物を考慮した平面 2 次元津波遡上計算から得られる浸水深および水平流速を用いた津波波圧算定方法に関して、下記の提案が示されている。

- ・護岸先端に遮蔽物がある場合でも、高さが十分でなく津波が越流するような条件であれば波圧は進行波の浸水深最大値の3倍の静水圧を大きく上回る可能性がある。
- ・構造物前面の浸水深に応じた静水圧分布と運動量保存則に基づく圧力の和により、構造物設置時の平面2次元計算による津波波圧の合理的な評価が可能である。

なお、

- ・相馬共同火力新地発電所では座礁船よりの油流出という環境被害が出たが、発電所側で対応が可能なものとは言い難い。
- ・また、勿来発電所の港湾設備など一部被害が甚大であった設備に関しては本格復旧は今後となるが、仮復旧等を実施することにより、平成23年末にはほとんどの発電所で稼働を再開できている。

3. 2 水力発電所

- ・水力発電設備の設計基準としては、1957年4月(昭和32年)、日本大ダム会議が「ダム設計基準」を刊行し、初めて設計基準が体系化された。その後、1965年(昭和40年)に「発電水力設備に関する技術基準を定める省令」、1976年(昭和51年)に「河川管理施設等構造令」が制定されているが、これらの設計基準による耐震設計は、いずれも「震度法」を基本としている。
- ・1995年(平成7年)1月の兵庫県南部地震を契機として、土木学会からは土木構造物の耐震基準に関する提言(1995年、1996年、2000年)が示され、構造物の耐震性能は現在から将来に亘って当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動として定義されたレベル2地震動を設定して照査することが提案されている。
- ・2005年(平成17年)3月、国土交通省からは「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」が示され、レベル2地震動に対して確保すべきダム(15m以上)の耐震性能とその合理的な照査の方法が具体的に提案されるに至っている。

- ・表面遮水壁型ロックフィルダムである八汐ダム、沼原ダムは震度法に基づき設計されており、その設計水平震度は、双方とも $kh=0.15$ である。
- ・震度法による設計水平震度がどの程度の地震力(加速度)に相当するかに関しては議論があるが、便宜的な方法により観測された最大加速度から当該地点の水平震度を推定すると、それぞれ $kh=0.04$ 、 $kh=0.14$ 程度と考えられ、設計水平震度を超えるものではない。
- ・今回の大地震においても、ダム自体の大きな変位、沈下、亀裂の損傷は認められず、震度法により耐震設計されたダムは所要の耐震性能を有していたものと考えられる。
- ・2ダムの震源までの距離はほぼ等しいにも関わらず、沼原ダム基礎で観測された最大加速度が塩原ダム基礎での観測値に比較してかなり大きい値となっているのは、沼原ダムの基礎岩盤が八汐ダム地点の基礎岩盤に比較してかなり柔らかい岩盤であったことが推定される。

- ・水路式発電所(流れ込み式)においては、殆んどが戦前に築造されたものであり、設計根拠に関する確かな資料が残されているものが少ないと推察される。
- ・地山の崩壊に起因し付随的に発電設備(水路工作物)が損傷するケースが多い。今回の地震は短周期成分が卓越した強い地震動が長時間継続(100秒以上)したものであり、大きな地震力や継続時間の長さが地山内部の強度低下を招き、崩壊に至ったことが推定される。
- ・石岡第一発電所については、水槽崩壊が地震発生から4時間以上経過している。これに関して、震度法による耐震性照査を行った結果、構造的には問題ないことを確認していることから、地山崩壊が原因であったと推定されている。

3. 3 変電・送電・配電設備等

■地震

地震に関しては、下記の被害状況であった。

- ・変電設備に関しては、運転継続不可能となる被害は少なかった。
- ・架空送電設備については、長期間にわたって運転継続不可能となった被害はなかった。
- ・地中送電設備に関しては、津波による変電所被害以外で通電不能となったものはなかった。
- ・配電設備に関しては架空、地中ともに、地震動による長期的かつ広範囲の停電は発生していなかった。

変電・送電・配電設備等については高レベルの地震動に際しても著しい供給支障が生じないよう総合的にシステムとしての機能が確保されることを求められており、この観点から求められた耐震性は確保されていると考えられる。

(参考)

2章に示した盛土崩壊に起因する鉄塔倒壊事例を踏まえて、原子力電源線において地盤条件が特殊（盛土、地すべり、急斜面）な送電鉄塔については、各電力会社において安全確認を実施しており、その結果が原子力安全・保安院から公開されている。（註：下記は平成24年2月時点の情報） <http://www.meti.go.jp/press/2011/02/20120217009/20120217009.html>

- ・盛土の評価：四国電力（1箇所）で一定の裕度は有しているが、万一の場合でも電源線の多重化が確保できるように3年後の完成を目指して安定性向上対策を実施予定である。
- ・地すべりの評価：四国電力（1基）で敷地直近の農道の影響と想定される地すべりの兆候を確認し平成24年3月完了目途で対策工事を完了予定であり、東京電力（13基）、関西電力（3基）、四国電力（4基）で監視を継続する。
- ・急傾斜地の評価：東京電力（2基）で基礎安定性に問題はないが、将来的な風化の影響も考慮して対策を検討しており、関西電力（3基）で既に応急対策としてののり面保護（シート養生）および地質調査を実施済みで現時点で鉄塔基礎の安定性に影響を及ぼすものではないが、恒久対策（鉄塔移設、のり面保護工）を計画中で速やかに対応していく。
- ・上記以外は安定性（盛土、地すべり、急傾斜地）に問題なし。

■津波

津波に関しては、下記の被害状況であった。

- ・変電設備に関しては、構内への浸水や周辺構造物のがれきや車両の流入等により機器の損傷等が発生した。
 - ・送電・配電設備に関しては、鉄塔下部への流入物や漂流物の衝突による影響と推測される鉄塔や機器の損傷が発生した。
- また、地中設備については漂流物や冠水等により、送電不能が発生した。

これらを踏まえると、津波に関しては火力発電所と同様に津波に関する設計手法に関しては見直しが必要と考える。

3. 4 ガス施設

【一般ガス事業者の製造所・ガスホルダーについて】

■地震

地震発生後、配管フランジ部の微量のガス漏えい及び気化器用温水配管からの漏えいがそれぞれ別の製造所においてあったが、いずれも二次災害に至ることはなかった。

有水式ガスホルダー3基において、ガイドローラー部の外れや支柱の変形があったが、いずれも気密性は維持され、ガス漏えいは発生していない。

球形ガスホルダー4基において、タイロッドブレース及びアンカーボルトの一部にわずかな伸びが生じ、基礎の一部にひび割れが生じた。タイロッドブレース及びアンカーボルトの伸びは、一定量の塑性変形を許容する「製造設備等耐震設計指針（日本ガス協会）」による評価基準の範囲内である。また、基礎のひび割れは、軽微であり、ガスホルダーの支持に必要な強度は保持された。

また、このうち2基の球形ガスホルダーにおいて、各基の支柱12本中2本で支柱上部とのタイロッドブレース接続部が損傷したが、本体耐圧部を支える支柱自体の機能は健全であり傾きも生じなかった。いずれも本体耐圧部は損傷しておらず、ガス漏えいは発生していない。これら接続部が損傷した2基の球形ガスホルダーは、いずれも1978年に設置され、当時の建築基準法に基づき設計されたものであり、同接続部の損傷を防止する措置が講じられていないものである。「球形ガスホルダー指針（日本ガス協会）」の1989年版以降のものには、この対策を実施すべきことが規定されている。

なお、上述のガスホルダーの他に製造設備についてみると、例えば、仙台市ガス局港工場で観測された最大加速度は、615ガルという高レベルなものであったが、「製造設備等耐震設計指針」に基づき設置されたLNG貯槽、LPG貯槽、ガス発生設備、LNG配管、電気設備等主要な設備に被害はなく、本指針の妥当性が確認された。

■津波

配管・架構類について、杭基礎のある配管・架構類には被害がなかったが、杭基礎以外の基礎の配管・架構類の一部が損傷した。

気化器については、高圧の気化器に被害がなかった一方、2事業所において中圧の気化器に漂流物の衝突が原因とみられる損傷があった。

4事業所において電気設備が浸水により故障した一方、他の設備に比べ、気密性を増した建屋内にある付臭設備は、浸水影響をほとんど受けなかった。

LNG・LPG貯槽については、一部が漂流物の衝突と思われる塗装剥離程度の影響を受けたが、本体は健全であった。

第4章 被災設備の復旧対策

4.1 火力発電所

■復旧の考え方

- ・発電設備に関しては原形復旧がほとんどの発電所での考え方となっている。
- ・常陸那珂火力発電所、鹿島火力発電所、鹿島共同火力発電所では、「発電設備については応急復旧後、原形復旧」としている。
- ・原町火力発電所では復旧にあたって、除塵装置を1水路2基（バー回転スクリーン、トラベルスクリーン）から1水路1基（バケット型スクリーン）に変更するなど設備のスリム化に取り組んでいる。（今後、設備運用の変更により重油タンクを省略する計画もあり）

なお、上記の対応は、電力需要の逼迫への対策の観点で火力発電所を早急に復旧する必要性から来ていると推定され、中・長期的には津波対策に対して検討する必要性も考慮されている。今後、追加の対策が実施される可能性があること追記しておく。

■復旧方法

各発電所における復旧状況を 参考資料4 火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況に示す。仮復旧が終了した構造物・施設・設備のうちで本復旧が必要となるものについては、本復旧もほぼ終了の段階に入っている。（東京電力広野発電所、常陸那珂発電所、鹿島発電所など）

- ・既設護岸（新地発電所）
基礎（鋼管矢板）が前面に大きく変位
⇒グラウンドアンカーによる補強+捨石による根固め補強
- ・荷役岸壁、揚炭棧橋（原町発電所）
鋼管矢板、鋼管杭を打設して再構築
- ・防潮堤（勿来発電所）
津波の越波により殆ど破壊
⇒トンパック土嚢積み（仮防潮堤） ※県計画では再構築する予定
- ・防波堤（新地発電所）
ほとんどが海中に没水
⇒高潮時には避難する必要あり。
- ・防舷材（新地発電所、原町発電所）
津波等により大きな外力受ける
⇒陸揚げし調査⇒新規製作し再設置
- ・設備基礎
沈下、上部工損傷
⇒嵩上げ又は再設置（場合によっては場所打ち杭設置 [勿来発電所]）
損傷具合によってはアンカー再設置などの可能性もあり。
空隙発生部はエアモルタルによる空隙充填（新地発電所）
- ・ボックスカルバート（勿来発電所）

目地部損傷、不陸

⇒漏水が殆どない部分は無処置、目地損傷部再構築

・取放水管（原町発電所）

可とう継手の許容変位量超え

⇒内面バンド方式により復旧、薬液注入工法（管体下部の空洞・ゆるみ領域対策）

※「東日本大震災による火力発電所土木建造物の被害と対策」（電力土木 No. 360, 2012. 7）において詳しく説明されている。

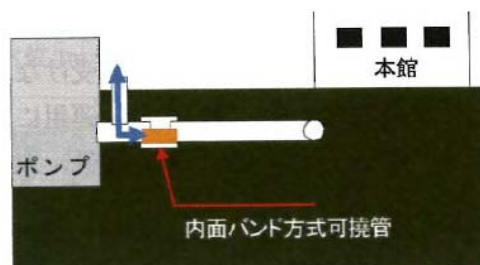
【被害状況】

- ・取放水管の管胴本体は健全であったが、可とう継手の変位量が最大で管軸直角方向偏心量 17cm、管軸方向伸び 7.5cm と管軸直角方向偏心量が設計許容範囲（10cm）を超過していた。（p. 14 参照）

⇒可とう継手部の改修が必要と評価した。

【復旧方法】

- ・復旧工事への影響を考慮して、マンホールを利用して管路内部から帯状のバンドを人力で搬入し、海老胴状に溶接して可とう管を構成させる既設管内挿入工法（内面バンド方式）を採用した。（内面バンド方式は管内部から補修できることからメンテナンス上のメリットも大きい。）
- ・本工法は既設可とう継手を鞘管として利用し、新管を既設管路に挿入する工法であり本計画では既設管φ2, 800mmの内側にφ2, 600mmの可とう管を挿入した。



- ・内面バンド方式の施工実績は最大径φ1, 800mmまでであること、事前に10cm以上の変形を伴った状態での施工実績がないことから、実機を製作し伸縮試験耐圧試験等の性能確認試験を実施した。その結果を踏まえ、許容偏心量は10cmと設定した。



- ・今回と同程度の地震で修復不要とすることを可とう継手の復旧基本方針とし、液状化時の沈下量が許容偏心量以下となるように地盤仕様を設定した。（管体下部に空洞・ゆるみ領域が存在している可能性があることから、薬液注入工法を選定）

改良地盤と未改良地盤の境界部は不等沈下も考慮して、液状化範囲を設定した。

・構内道路、側溝

液状化による沈下、津波による土砂掃出し

⇒嵩上げ、再舗装・再設置

- ・ 構内全域
 - がれき、海砂による覆土、重油タンク転倒による漏油（原町発電所）
 - ⇒がれき撤去、清掃、油土壌処理（バイオレメディエーション）
 - ※「東日本大震災の津波に伴う油付着土壌のバイオ処理」（電力土木 No. 367, 2013. 9）において詳しく説明されている。
- ・ 土木構造物（電気洞道、GIS 基礎、配管架台）（鹿島火力発電所）
 - 液状化による被害
 - ⇒各構造物の要求性能に応じた液状化対策（高圧噴射攪拌工法、鋼材方式による浮上り防止対策）
 - ※「鹿島火力発電所 7 号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要」（電力土木 No. 365, 2013. 5）において詳しく説明されている。
- ・ 荷役岸壁（原町火力発電所）
 - 津波（完全越流）により荷役岸壁エプロン下部の沈下、岸壁法線の変位発生
 - ⇒岸壁法線を当初計画と一致させ、新設矢板を既設矢板の背面（陸側）に打設して再構築
 - ※「原町火力発電所荷役岸壁の東日本大震災からの復旧工事概要」（電力土木 No. 367, 2013. 9）において詳しく説明されている。
- ・ 発電所機器（八戸火力発電所）
 - 津波による被害
 - ⇒敷地レベルや基礎仕上げ高さを考慮
 - ※「東日本大震災後の緊急電源工事の概要と工期短縮対策」（電力土木 No. 361, 2012. 9）において詳しく説明されている。

■被災直後の復旧活動

①相馬共同火力発電所

被災直後の復旧活動についてまとめられているので、土木建築Gの取り組み状況をここで紹介する。

【震災当日～翌日】

- タービン3階と中央制御室トイレの汚物流しを実施。タービン4階の空調設備水槽のマンホールよりバケツで水汲み、人力運搬。1千人のトイレ確保は大問題、腕が筋肉痛。
- 震災翌日の朝日がきれいなことにしばらく感動。地上を見ると津波の被害にしばらく呆然。午後になり工事会社やお客さまが退所され、我々も余震を気にしつつ西久保寮に移動。

【震災～一ヶ月目】

- 土木建築設備の範囲が膨大であることを、あらためて実感。まずは構内道路の確保を優先。天気が良ければ埃まみれで散水車が大忙し。雨が降れば道路がドロドロに、土砂・瓦礫で埋まった側溝は水が溢れ出す。そのような中、N産業様、その協力会社の皆様の働きに感謝。特にN土木様の日々増加する作業員と重機の数に圧巻。
- 津波で倒れた周囲柵の仮復旧を実施。重機で起こして仮固定しただけでしたが、復興の第一歩としては格好がついたように見えた。

【一ヶ月目～二ヶ月目】

- 水回りライフラインの復旧が本格化。上水道、排水管、浄化槽設備は地震による破損が各所で確認され、試験通水で漏水があれば破損区間の復旧を繰り返す。なんとか飲み水の確保は成されたか。

【二ヶ月目～三ヶ月目】

- 復旧工事が本格化し、仮復旧から本復旧へ。建築工事、空調工事、土木工事。新地発電所建設当時のゼネコンも本格参入で頼もしい限り。しかし、今後の工事規模を考えると土木建築グループ三名で管理できるのだろうかという心配が・・・
- 土木建築グループでは大変気になっていた、取水路の内部確認を実施。目立った損壊が無くほっと一安心。続けて放水路も内部確認を行うが、恐らく大丈夫と思われる。



②東北電力原町発電所

【2011年3月11日（震災当日）】

- ・地震発生後所員のほとんどは事務本館3階の執務室にいたが、その後所員は本館5階に移動。
- ・浸水深13mにも及ぶ津波により事務本館の3階までの冠水、4台の揚炭機とベルトコンベアの損壊、重軽油タンクの損壊、変圧器の全冠水、タービン本館1階の電気・機械設備の冠水、諸建屋の損傷・流失など、火力発電所としての機能を失う甚大な被害を受ける。

【2011年3月24日】

- ・福島第一原子力発電所から30km圏内にあることから国からの3月15日の屋内退避指示を受けて現場作業を禁止していたが、消防車等緊急車両の通行を可能とするため構内道路の整備に着手。

【2011年4月22日】

- ・屋内退避指示の解除を受け、がれきなどの撤去作業や設備・被害状況調査を本格的に開始。
- ・その後、土木設備調査作業、港湾内支障物除去作業等を開始。

【2011年8月】

- ・調査結果を受け、現状復旧を前提とした復旧基本方針を決定。
復旧作業を本格化する。

【2012年11月3日】

- ・原町火力2号機が試運転による発電を再開。

【2013年1月28日】

- ・原町火力1号機が試運転による発電を再開。

■発電所の稼働状況（あるいは運転再開時期予想）

原町火力発電所以外は、平成24年4月時点で運転を開始している。

原町火力発電所は平成24年11月に2号機が試運転を開始しており、1号機は平成25年1月に試運転を開始している。

表-4.1.1 発電所の稼働状況

電力会社	発電所名	津波被害	号機	運転再開日	復旧期間	備考
東北電力	八戸火力発電所	有	3u	H23. 3. 20	9日	
	仙台火力発電所	有	4u	H24. 2. 8	11ヶ月	
	新仙台火力発電所	有	1u	H23. 12. 27	9ヶ月	
	原町火力発電所	有	1u	H25. 4. 26	25ヶ月	H25. 1. 28 試運転開始
2u			H25. 3. 29	24ヶ月	H24. 11. 3 試運転開始	
東京電力	広野火力発電所	有	1u	H23. 7. 3	4ヶ月	
			2u	H23. 7. 11	4ヶ月	
			3u	H23. 7. 16	4ヶ月	
			4u	H23. 7. 14	4ヶ月	
			5u	H23. 6. 15	3ヶ月	
	常陸那珂火力発電所	有	1u	H23. 5. 15	2ヶ月	
	鹿島火力発電所	有	1u	H23. 5. 16	2ヶ月	
			2u	H23. 4. 7	1ヶ月	
			3u	H23. 4. 6	1ヶ月	
			4u	H23. 4. 1	1ヶ月	
			5u	H23. 4. 8	1ヶ月	
6u			H23. 4. 20	1ヶ月		
相馬共火	新地発電所	有	1u	H23. 12. 27	9ヶ月	
			2u	H23. 12. 19	9ヶ月	
常磐共火	勿来発電所	有	6u	H24. 4. 21	13ヶ月	長期計画停止からの復旧
			7u	H23. 12. 21	9ヶ月	
			8u	H23. 7. 17	4ヶ月	
			9u	H23. 6. 30	4ヶ月	
鹿島共火	鹿島共同発電所	無	1u	H23. 4. 16	1ヶ月	
			2u	—	—	長期計画停止中
			3u	H23. 6. 7	3ヶ月	
			4u	H23. 7. 20	4ヶ月	

4. 2 水力発電所

■復旧の考え方（基本方針）

発電設備に関しては、逼迫した需給状況を勘案し、一刻も早い発電機能の復旧を最優先し、必ずしも原型復旧とはしていない。

■復旧方法

【八汐ダム、沼原ダム（アスファルト表面遮水壁のクラック）】

<八汐ダム>・・・「大ダム No.219」より引用

第一段階：アスファルトマスチック塗布＋アスファルト含浸不織布シート

第二段階：上部遮水層切削除去

上部遮水層3層 アスファルトマスチック充填＋アスファルト含浸不織布シート

上部遮水層1, 2層 再舗設

表面遮水壁の補修については、早期に発電運転を再開するために、第1段階としては短期間で施工可能な応急的工法による措置を施した。

第1段階の補修では、まず、地震直後の3/15～19にかけて水面上のひび割れ箇所表面にアスファルトマスチック（ストレートアスファルト使用）を塗布した。その後、直ちに補修効果を確認するためにダム水位を上昇させたが、2m程度上昇させた時点で漏水量の増加が確認されたため、水位上昇を中断した。補修箇所の確認を行った結果、外気温の低下によるひび割れの開口により塗布したアスファルトマスチックの破断が確認されたため、温度低下によるひび割れ幅の変化に追従するような補修材料を検討し、図-4.2.1に示すように水面上のひび割れには低温での変形性能の改善を目的として開発された低弾性アスファルト（スーパーフレックスファルト）を使用したアスファルトマスチックを塗布した上にアスファルト含浸不織布シートを布設する工法を採用した。スーパーフレックスファルトはこれを使用した水密用アスファルトコンクリートの場合、従来のストレートアスファルトを用いたものに対して試験温度-10℃における降伏ひずみは約10倍と、非常に変形追従性の高い材料である。

なお、水中部のひび割れについては、気中部より温度が高く温度変化が少ないことなどから応急措置として水中施工の可能なエポキシ樹脂パテを塗布した。その結果、中間排水層からの排水量は0となった。

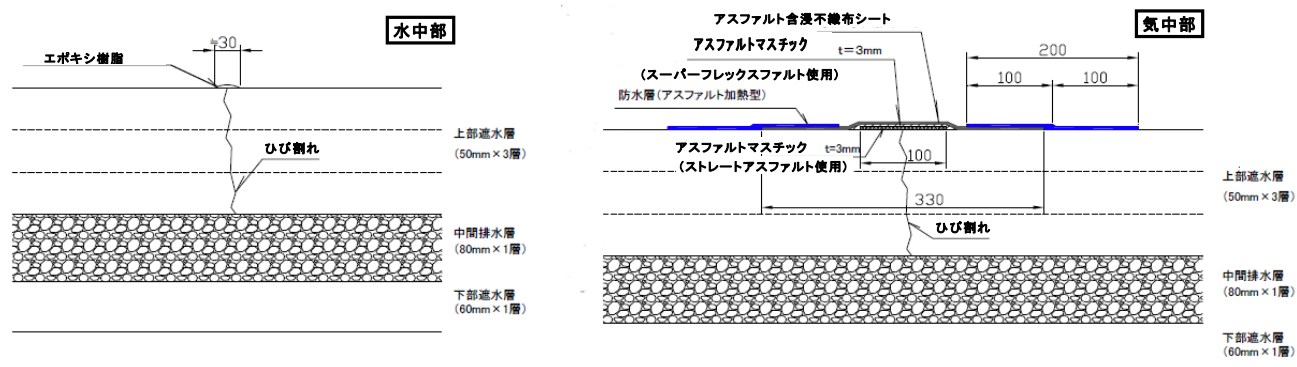


図-4.2.1 八汐ダム補修（第1段階）の概要

次に第2段階として、夏季以降の運転を安定的に行うための補修を実施した。

工法は、図-4.2.2に示すように、ひび割れ箇所を中心に上部遮水層2層目までを切削除去し、3層目クラック部を10cm程度の幅でカットした後、スーパーフレックスファルトを使用したアスファルトマスチックを充填し、その上部にアスファルトを含浸した不織布シートを布設後、上層2層を再度舗設した。なお、充填したアスファルトマスチックには施工中の流動を考慮して有機繊維を混入した。切削範囲については建設時の継目配置の考え方を踏襲して既設の遮水層と新設の遮水層の継目が上下層で50cm以上離れるように配置した。

第2段階の補修工事の後、中間排水層からの排水量は0である。

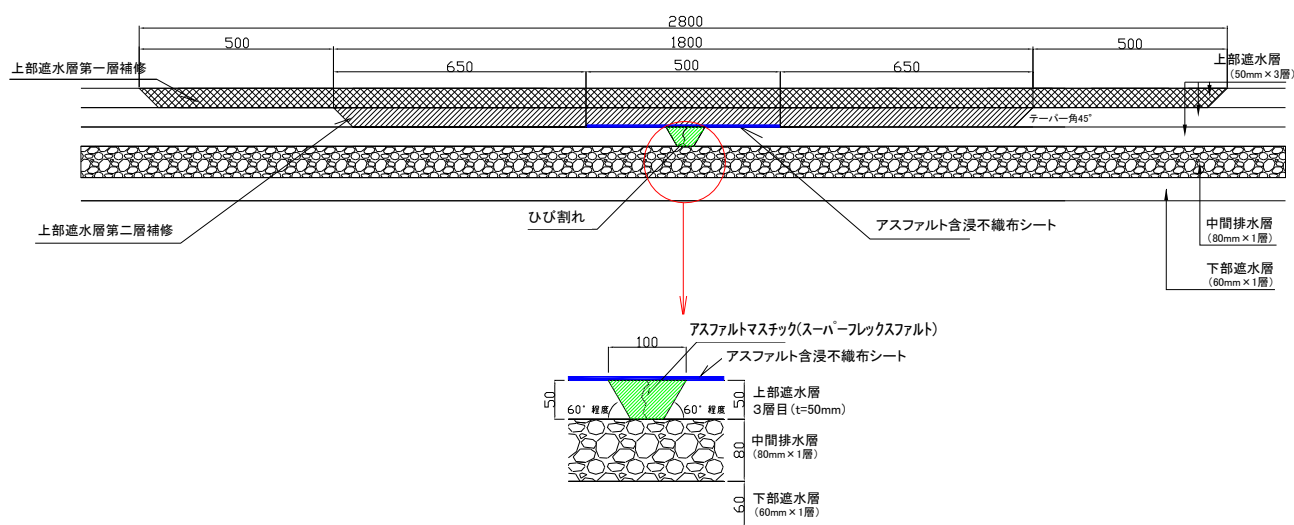


図-4.2.2 八汐ダム補修（第2段階）の概要

<沼原ダム>

アスファルト遮水壁の補修部分に要求される性能は以下のとおりとし、図-4.2.3に示すオーバーレイ工法を採用した。

アスファルト遮水壁の補修部に要求される性能は以下のとおりとした。

- ① 水圧の変動に耐えられること。(水圧の変動幅は、0～0.25MPa)
- ② 温度変化(−13℃～+50℃程度)による補修部周辺の変位に対応できること。
- ③ 高温時の補修材料自体の変形が遮水機能の消失に繋がらないこと。
- ④ 冬期の凍結による表面の氷の上下による摩擦および雪氷の滑落で補修部が破壊しないこと。
- ⑤ 遮水壁の破損を引き起こす背圧を生じる漏水は生じさせない構造であること。また、湧水により発生する背圧に耐えられる構造であること。(背圧の変動幅は、最大 0.40MPa程度と考えられる)
- ⑥ 補修部のメンテナンスが簡単に行えること。

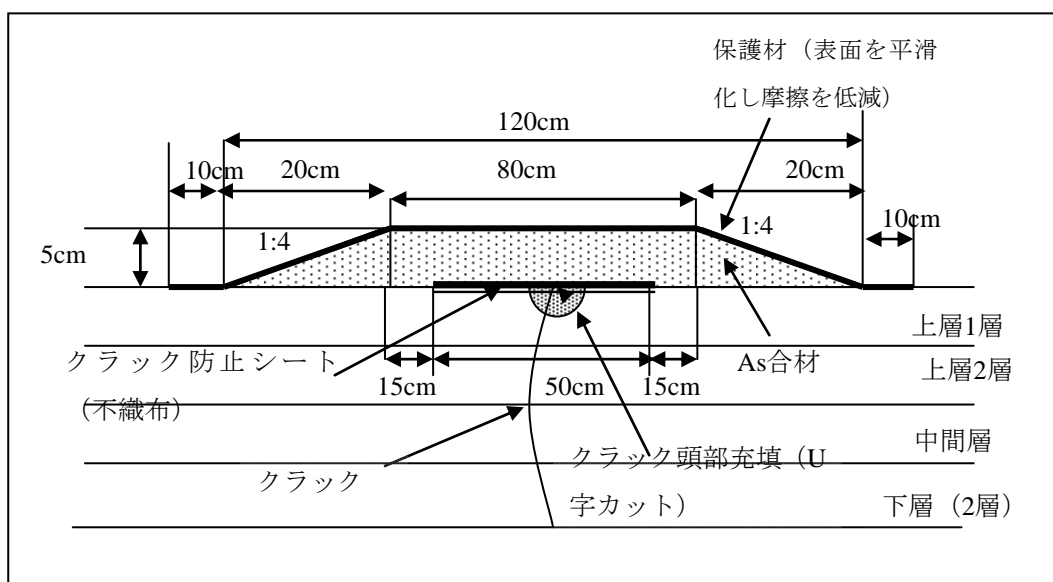


図-4.2.3 補修方法

補修工事は、4月21日から現場事務所設置や機材の運搬等の仮設備に着手した。また、本工事は同月26日に着工し、6月22日に施工完了した。

補修対象クラックは、当初1,543mであったが、工事施工中に小規模なクラックが発見され、最終的には1,547mとなった（クラック延長は斜面部のみであり、取水口廻りのものは含まない）。また、クラック端部処理は44箇所である。

遮水機能を負担するクラック防止シートと舗装工（オーバーレイ工）の工事期間を表-4.2.1示す。

表-4.2.1 各工種の工事期間

項目	工事期間	備考
クラック部開削	4月27日～5月18日	
クラック充填	5月15日～6月8日	
クラック防止シート	5月15日～6月14日	
舗装工（オーバーレイ工）	5月16日～6月16日	
表面保護工	6月10日～6月22日	

【水路式（流れ込み式）】

- ・ 四時川第二発電所水路（地山崩落を伴う水路損傷）
原形復旧では痩せ尾根部での施工となるため、水槽を移設、水圧管路を延長し、復旧する計画。
- ・ 移川発電所（水槽へのクラック発生とそれに起因する水槽および鉄管の損傷）
原形復旧する計画。
- ・ 川上発電所（地山崩壊に伴う水路損傷）
コンクリート2次製品を利用して水路部を原形復旧計画。
- ・ 石岡第一発電所（地山崩壊を伴う水槽損傷）
水槽付近の地山崩壊は仮押さえし、水槽位置を変更して設備復旧を行い、早期の運転再開を目指した計画。
- ・ 花貫川第二発電所（水管路およびサージタンクの損傷）
損傷は、鉄筋コンクリート製水路の一部の破損および亀裂の発生であったことから、鉄筋コンクリート巻立、亀裂部は漏水防止工のみとし、早期の運転再開を目指した計画。

■ 発電所の稼働状況（あるいは運転再開時期予想）

表-4.2.2 発電所の稼働状況

電力会社	発電所名	運転再開時期	復旧期間	備考
東北電力	四時川第二発電所	未定	未定	保安林解除手続き後工事着手予定
	移川発電所	H24年6月	10ヶ月	
	川上発電所	H24年3月	8ヶ月	
東京電力	塩原発電所	H23年6月	3ヶ月	
	沼ノ倉発電所	H23年6月	2ヶ月	
電源開発	沼原発電所	H23年7月	2ヶ月	
東京発電	石岡第一発電所	H23年6月	3ヶ月	
	花貫川第二発電所	H23年6月	2ヶ月	

4. 3 変電・送電・配電設備等

■供給支障(停電)の規模、停電復旧について

※「電気設備地震対策ワーキンググループ報告書」平成24年3月(原子力安全・保安部会電力安全小委員会)より抜粋

○地震による被害の復旧状況

- ・東北地方太平洋沖地震により、東北電力管内では、最大約466万戸の広域停電が発生した。地震発生直後から、発電・送変電・配電部門が一体となった復旧を実施し、他電力会社からの応援等を得ながら、3日後には被害全体の約80%を復旧し、8日後には津波等の影響で復旧作業に入れない区域を除いて停電を解消した。
- ・東京電力管内では、最大約405万戸が停電したが、東北電力と同様、発電・送変電・配電部門が一体となった復旧に取り組み、地震発生の翌日には、60万戸、4日後には7,300戸まで減少し、7日後には全ての停電を復旧した。

○津波による被害の復旧状況

- ・変電設備については、自治体等による立入禁止が解除され、自衛隊による一般道や変電所周辺のがれき撤去後に、現地の被害状況を確認し、復旧を行った。また、被害が甚大であった変電所については移動用機器による復旧を行った。
- ・送電設備については、余震等による被害進展により送電に支障をきたすおそれのあるもの及び公衆に危害を及ぼすおそれのあるものなどに対して速やかに仮支線設置や部材補強等を施したほか、供給支障が生じている線路の一部では、鉄塔や鉄柱による仮ルートを構築して送電機能を回復した。
- ・配電設備については、電柱を建てる箇所のがれき撤去、仮設道路の建設及び離島への車両運搬など、自治体等と連携して復旧を進めた。

4. 4 ガス施設

【仙台市ガス局 港工場の例】

港工場付近は近隣の石油精製工場の火災により、立ち入り禁止となり、地震発生から3日後にようやく被災後の工場内に入れたものの、その被害は甚大であり、工場でガスを製造する用途は立たなかった。

仙台市ガス局は、LNG（液化天然ガス）を気化してガスを製造するだけでなく、新潟からパイプラインでも気体の天然ガスを受け入れており、2系統の供給ラインを確保していた。

幸い、この「新潟・仙台天然ガスパイプライン」（総延長約261km）に大きな被害がなく、健全性が確認できたため、港工場の付帯設備も一部を仮復旧し、3月23日からガスの受け入れを開始し、ガス供給を再開した。

第5章 今後への展開

5. 1 火力発電所

今後の災害に備えて留意すべき点として下記のような指摘があった。

- ・ 国、自治体の津波対策の動向と発電所固有の状況を踏まえた発電所における想定津波レベル設定と防潮堤整備、漂流物対策、基礎設計等の津波対策の検討が必要
- ・ 設備健全性を適切に評価するとともに、設備の重要度を踏まえ、必要に応じて安全裕度を高める等、地震・津波発生時の耐力向上や災害時における早期復旧性を考慮した設備設計が必要
- ・ 現在の設計手法に加え、大地震発生を前提とし、設備重要度に応じて設備安全裕度を意識した設計手法の検討が必要
- ・ 浸水被害を受けた電動機や制御基盤等は洗浄により再利用できるものであり、最大限活用することにより早期復旧を図ったが、構外工業用水ラインが被災したため洗浄水の確保に苦慮した。洗浄水だけでなく、火力発電設備の再起動にあたって工業用水が必要となることから、被災後の早急な確保のために自治体との連携が必要。
- ・ 避難訓練が奏功

東北地方太平洋沖地震のような広域かつ大規模災害時に、火力発電所に求められるものは下記の二点であると考えられる。

【公衆保安の確保】

- ・ 発電所構内にいる人（従業員、協力会社関係者、視察・見学者等）の人命確保
- ・ 発電所構外の一般の人命確保（大規模火災、危険物漏洩等）
- ・ 薬品類、燃料油の漏洩等による環境汚染の回避

【電力供給力の確保】

大規模災害時には、原子力発電所は、たとえ設備被害が無かったとしても安全確認、地元・行政協議により発電再開までに相当の期間を要する。そのため、電力供給は水力、火力を中心にあらゆる手段を講じる必要があるが、そのなかでも発電容量の大きな火力が重要であり、速やかな発電再開をすることが必要である。

上記および本調査で得られた知見を踏まえた当委員会としての提案を、下記に記載する。

【地震・液状化について】

- ・地震・液状化に対しては、土木設備は致命的な被災は生じていない。被災した設備についても、比較的短期間で復旧または仮復旧し、発電再開を達成している。
- ・地盤改良実施済みエリアにおいては、液状化被害が発生していない。
- ・しかし、東北地方太平洋沖地震では、1～3秒程度の周期成分が小さい地震動であったことが指摘されている。加えて、兵庫県南部地震において発生した、「ケーソン護岸が大きく水平変位し、地盤側方流動が発生し背後地の多くの設備が被災」のような事象は発生していないことは、配慮する必要がある。
つまり、今回と同等の地震であってもより港湾構造物や地中構造物に大きな影響を与える地震動が発生することも否定はできない。
- ・以上を踏まえ、護岸や復旧に長期間要する設備およびLNGタンクや燃料油タンクなど公衆保安に多大な影響を与える設備については、事前の耐震性確認（地震、液状化共）や必要に応じて耐震補強をしておくことが望ましい。これにあたって、地盤改良実施済みのエリアにおいては、液状化被害が発生していないことは、有益な情報である。
- ・耐震設計（新設）、耐震補強（既設）にあたっては、設備重要度に応じた設備安全裕度や、早期復旧性を意識した設計手法が求められる。
- ・火力発電所の運転では、工水が必要となることから、発電所構外の工水ラインの設備情報を事前に把握しておくとともに、自治体との連携体制を整えておくことが求められる。

【津波について】

- ・津波が発電所構内まで来襲した場合、大半が地下構造物である土木設備の被災は少ないが、機械・電気・建築設備の一部は壊滅的に被災し、燃料油タンクの倒壊による燃料油漏洩や復旧（発電再開）の長期化といった事象につながっている。
- ・また、地盤高さの設定根拠として、「津波を考慮」と回答したのは一部の発電所であった。
- ・行政等の津波想定も考慮して、下記のように津波レベルに応じた対策を講じるのが望ましい。対策の実施にあたっては、公的な支援も望まれる。

【頻度の高い津波（供用期間中に1～2度程度発生する津波）】

- ・各電力会社のBCPに対する判断によるが、地盤高さ設定も含めてこのクラスの津波による発電所内への浸水が防げるような海岸保全施設（護岸、防潮堤等）とすることが望ましい。
特に稼働中の発電所等で上記対策を取ることが現実的でない場合には、機能回復にクリティカルとなる設備だけでも防水化や基礎構造の見直し等により浸水や波力に対する対策を講じるのが望ましい。
- ・ただし、一旦機能喪失した場合人命に重大な影響を与える可能性のある設備（例えばLNGタンクなど）や外部環境に大きな悪影響を及ぼす設備（例えば油タンク等）については、消防行政等の方針を踏まえて、個々の設備毎の機能に重大な支障が生じないよう対策を施

す必要がある。

【最大クラスの津波（発生が極めてまれである最大クラスの津波）】

- ・このクラスの津波については、被害を防ぐような設備とすることは、費用の観点から現実的ではない。従って、今回の津波被害や復旧の実績を踏まえ、設備の被害が電力の供給に与える影響の程度を考慮し、可能な範囲で被害を減じ、或いは、復旧を容易とするようなハード面（機器の防水化など）、ソフト面（避難訓練や復旧のための事前計画など）の津波被害軽減のための総合的な対応が基本である。
- ・ただし、一旦機能喪失した場合人命に重大な影響を与える可能性のある設備（例えばLNGタンクなど）や外部環境に大きな悪影響を及ぼす設備（例えば油タンク等）については、人命に重大な影響を与えないよう類似の石油コンビナート等との整合をとった対策※を行うことが求められる。

※「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書」

（平成 23 年 12 月 消防庁危険物保安室・特殊災害室）では以下のような対策が提言されている。

【石油コンビナート施設】

- ・発生頻度は低いものの甚大な被害をもたらす津波に対しては、応急措置又は代替措置により、機能を速やかに回復することができるように計画を策定する。（施設・資機材等の浸水対策を講ずるとともに、津波警報等が解除され汚泥等の除去が行われ特定事業所構内に入ることが可能となった後、直ちに機能を回復できるようにするための応急措置の準備をしておく）
- ・対策例として消火用屋外給水施設の加圧送水設備の浸水対策、土のうや砕石等の応急措置用資機材の準備や応急措置計画の策定等が挙げられる。

【[危険物施設のうち] 屋外タンク貯蔵所】

- ・容量が 1,000 キロリットル以上のタンクに対して緊急遮断弁を設置する。（但し代替措置により流出防止が可能な場合や、津波による配管の被害のおそれのない場合は不要）
- ・地震発生時の電源喪失の可能性を踏まえて、緊急遮断弁の操作のために予備動力源を持つとともに遠隔操作による弁閉止機能など、信頼性の高いシステムの構築する。
- ・既往の津波波力算定式を利用した津波被害シミュレーションを活用した被害想定により応急措置の検討を行った上で、緊急停止措置等の対応に係る予防規程等を明記する。

【復旧について】

- ・液状化による道路の不陸・段差、がれきによる道路閉塞が発生している。
また、復旧にはがれき等撤去のための重機が必要であった。構内に建設所用重機が置かれていた場合には、これを用い早期の動線確保が実施できた。一方、構内に重機が置かれていなかった場合には、自治体の震災復旧にも重機を使用しており、早期の手配等による確保が必要であった。これを踏まえ、「重機を保有している近隣の建設会社との有事協力体制の構築」が望ましいと考える。

- ・発災後には、速やかに設備の点検を実施する必要がある。主要土木設備である冷却水取放水設備は、地中に設置されているとともに内部が充水されているため、速やかな点検は困難である。このような場合、水中カメラロボットによる点検が有効である。水中カメラロボットによる点検計画の事前策定および必要資機材の確保が望ましいと考える。
- ・速やかな復旧のため、重要土木設備の弱点部位・被害形態が予め予測できる場合には、復旧計画の事前策定が望ましいと考える。

参考

参考に、「電気設備地震対策ワーキンググループ報告書」平成24年3月（原子力安全・保安部会電力安全小委員会）の中で挙げられた新たな知見と課題、今後の対応等で、本委員会として土木構造物として参考にすべきと考える点を以下にピックアップした。

■津波による被害の復旧に関する新たな知見

- 発電所の構内・外にはがれき類が散在するとともに、半地下構造となっている発電所建屋やピットなどには多量の海水が流れ込んでおり、がれき類の撤去や排水作業に大変な時間を要し、点検作業開始の妨げとなった。
- 復旧にはがれき等撤去のための重機が必要であった。構内に建設所用重機が置かれていた場合には、これを用い早期の動線確保が実施できた。一方、構内に重機が置かれていなかった場合には、自治体の震災復旧にも重機を使用しており、早期の手配等による確保が必要であった。
- 同一構内に施設される設備であっても、津波が来襲する方向等により被害に差が生じたため、復旧の優先順位を定めた上で重点的に要員等を投入することが有効であった。

■津波による被害の復旧に関する課題

- インフラ設備の優先復旧に関する自治体等との連携強化
 - ・発電設備を早期に復旧するためには、工業用水、道路などのインフラ設備について発電所を優先的に復旧するなど、自治体との連携の強化が必要。
- がれきや車両等の漂流物の撤去
 - ・大量の漂流物について撤去の方針等、速やかに国、県、各自治体との協議が必要。

■今後の対応（各電力会社を中心となり取り組むべき事項）

- 以下の事項について関係機関との連携強化を進めることが重要である。
 - ・電力会社社員だけでなく、協力会社社員についても緊急通行できるよう関係機関との協議を進める。
 - ・燃料の確保のため、燃料供給元との間の優先供給の協議等を検討する。
 - ・工業用水の早急な確保のため、自治体との連携を進める。
- 自社の災害時のマニュアルの検証を行い、必要に応じ、被災後の復旧迅速化のためのマニュアル整備及びその他見直しを行う。また、防災業務計画への反映を行う。
- 火力発電所における電気機器が海水に冠水した際の修復対応については、洗浄により復旧した機器類の将来的な影響を確認するとともに、最適な修復対応についての検討を進める。

5. 2 水力発電所

今回の地震や津波の教訓として、今後の発電所計画に活かすことができる、あるいは、活かすべきと考える当委員会としての意見、課題、知見等を記載する。(ヒアリング内容も踏まえて)

- ・ アスファルト表面遮水壁式ダムについて、表面遮水壁にひび割れが生じ、遮水壁からの漏水量が増加したが、ダムの残留変位は小さく、堤体の安定性に問題はなかったものと評価されている。また、遮水壁は調査から補修工事まで含めて約3ヶ月と、ごく短期間で補修が行えた(八汐ダム、沼原ダム)。このことから、損傷箇所の特定や補修が表面で容易に行うことができるという同型式のダムの利点が最大限に発揮されたものと言える。
- ・ 一方、ひび割れ(クラック)の発生原因については、参考資料8に示す通り、堤体構造上(地山、盛土など物性値変化境界部等)以外にも、上部工構造(目地部等)により応力が集中する部分がひび割れの始点となり得ることが示唆された。これらについては、ハード対策(縁切りや、変形追従性に富んだ材料を使用することによりひび割れ伝播の回避など)によるひび割れの事前回避、あるいはソフト対策(検知された漏水量による貯水池水位低下手順等の事前確認)による初期漏水への適切な対応等を、必要に応じ、地点特性を踏まえ措置することにより対応が可能である。
- ・ また、アスファルト表面遮水壁式ダムについては、構造上遮水壁は連続体挙動となることから、特に寒冷時には大きな温度応力(引張)を受けていることが確認された。これは換言すればクラック等の損傷により遮水壁の力学的連続性が失われた場合には、温度条件次第ではかなりの開口が生じ、結果として多量の漏水に繋がる可能性があり、安全な排水機能の確保が極めて重要であることが示唆された。
- ・ なお、アスファルト表面遮水壁式ダムである八汐、沼原、ダム地点での地震動では、観測された地震記録から一般的な換算式を用いて換算した震度は、設計震度 0.15 を下回っていたことを確認した。本震は海溝型地震であったため、両ダム地点は震源から約 300km 弱の距離に位置し、ダム地点においてはこの程度の地震力に減衰したと考えられるが、より近傍の直下型地震の可能性も否定できない。これについては、地点特性に応じた個別の検討を必要に応じて実施する必要がある。
- ・ また、一般水力発電所の周辺地山については、耐震性、耐浸食性を高めるような対策が取られることはほとんどないと考えられる。しかしながら、今回の被害事例のように、地震時に何らかの原因で周辺地山が崩壊、浸食され、その結果として近傍の家屋建物、農作物、公共施設等に被害を発生させるケースも想定されるケースもあり得ると考えられる。
- ・ 今後は、各事業者で水力発電所の耐震上の様々なリスクを想定したうえで、そのリスク発生の可能性とリスク発生時の影響度を評価し、設備保全を行なうことが望まれる。

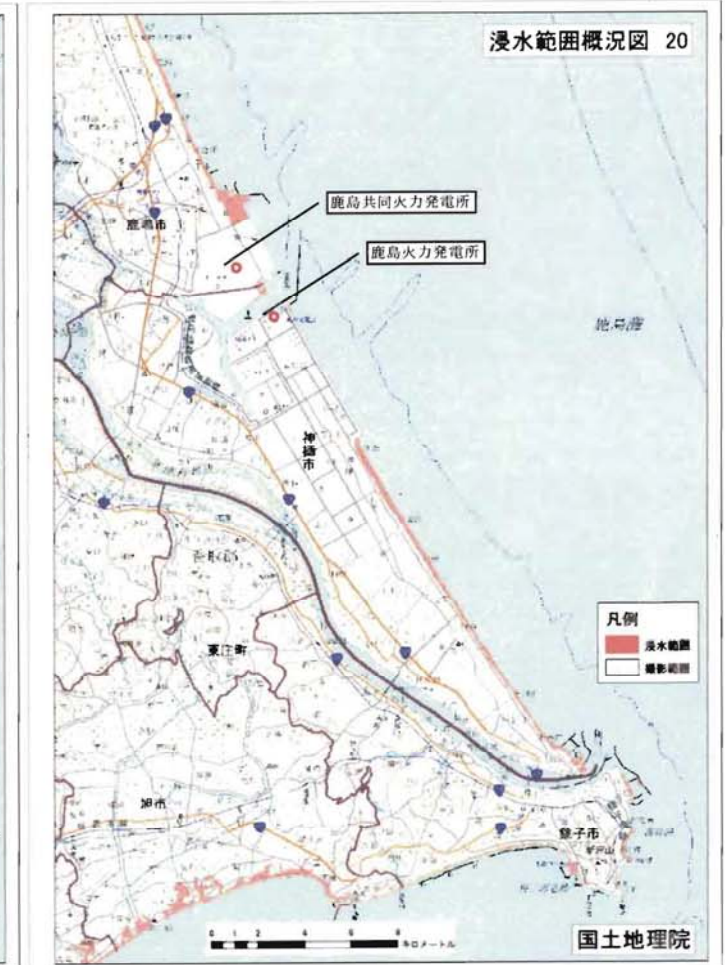
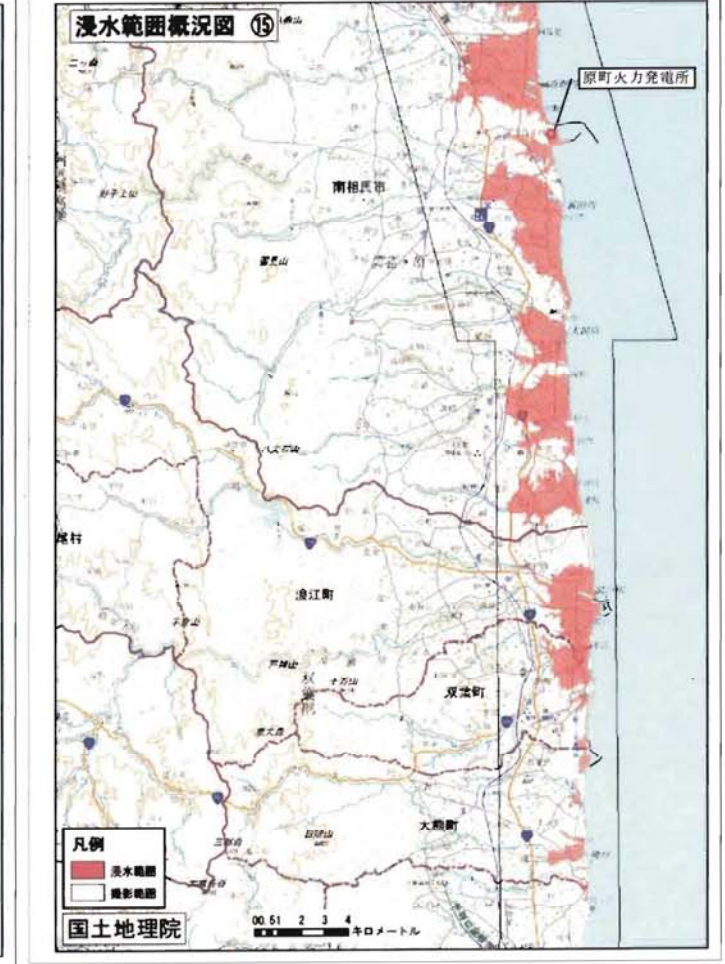
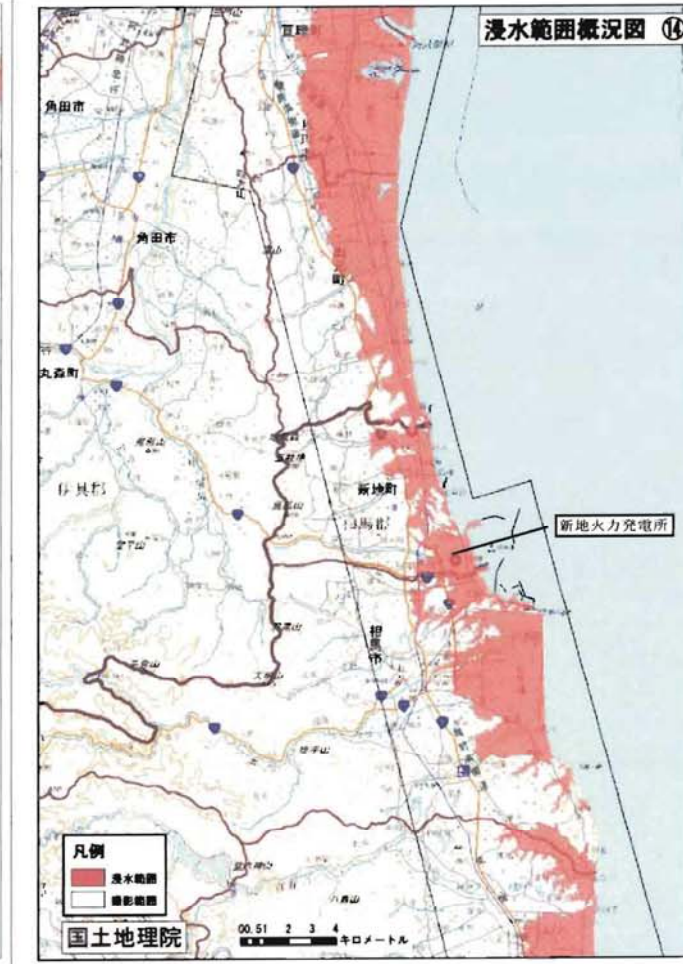
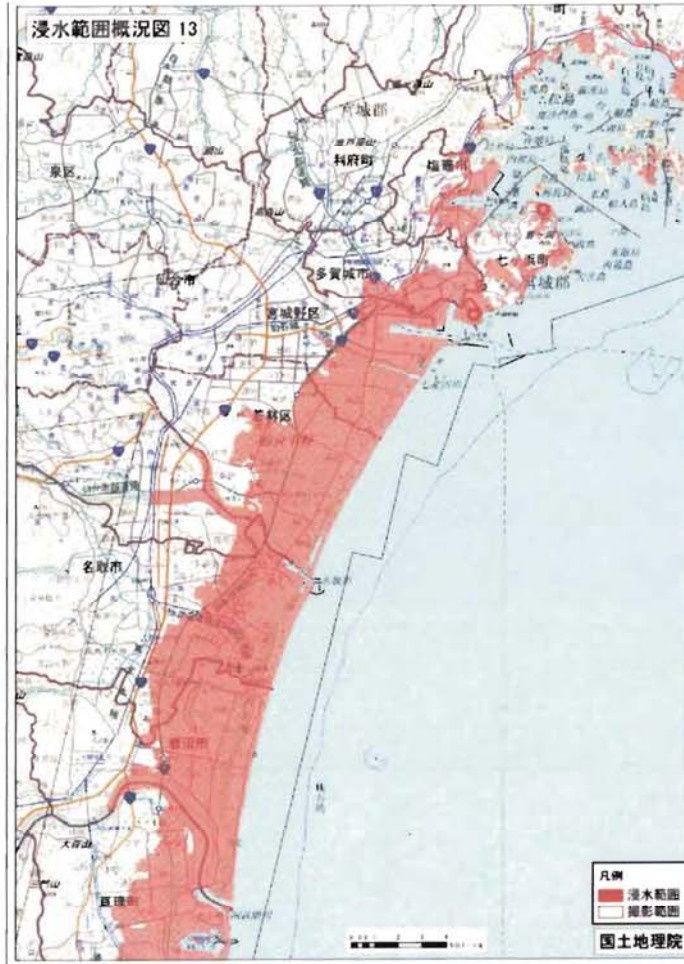
5. 3 変電・送電・配電設備等

変電・送電・配電設備等に関しては津波以外の要因による被害は比較的少なかった。
津波に関しては、火力発電所の項目を参照されたい。

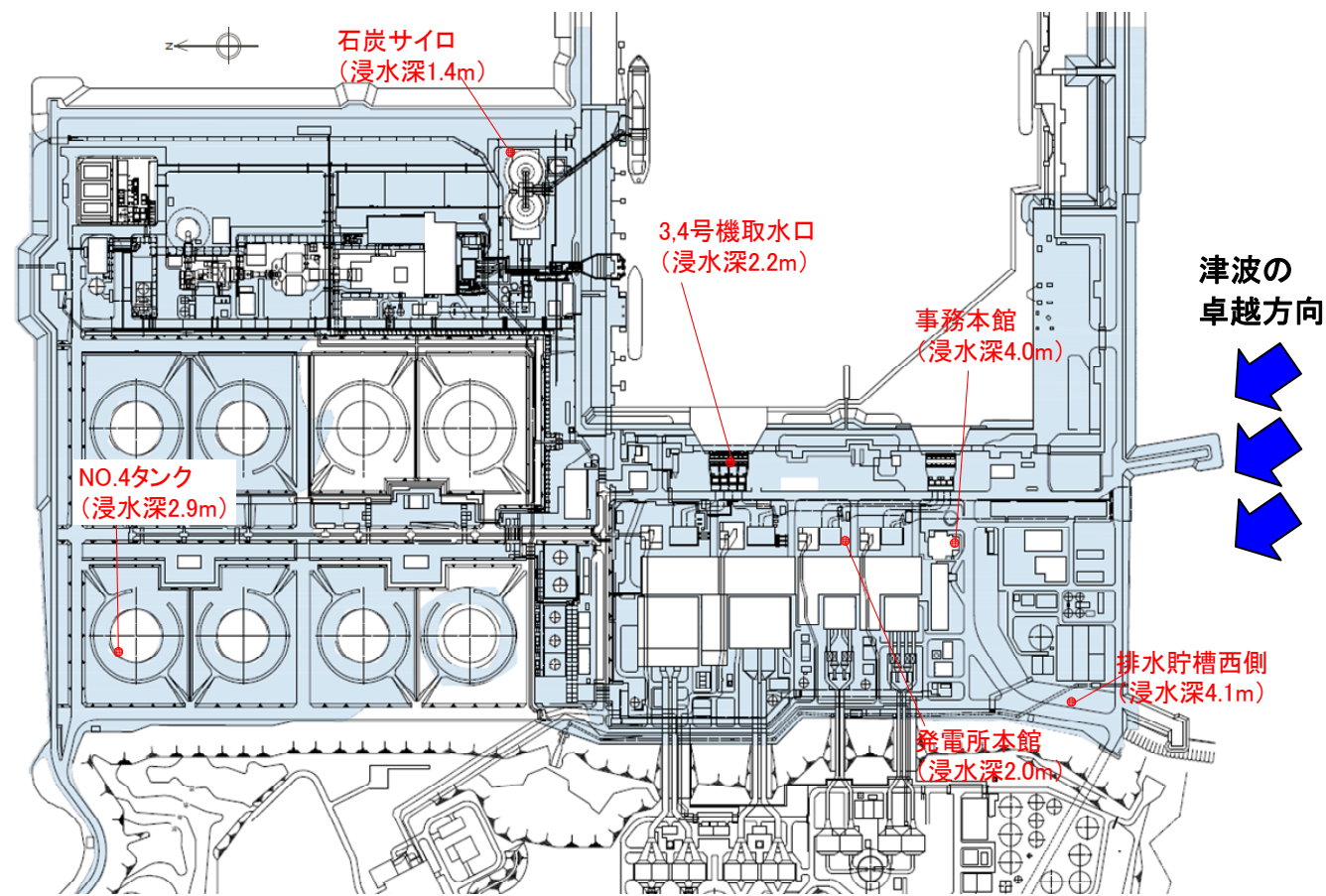
5. 4 ガス施設

ガス施設に関しては、「東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告書」平成24年3月 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 災害対策ワーキンググループ を参照されたい。

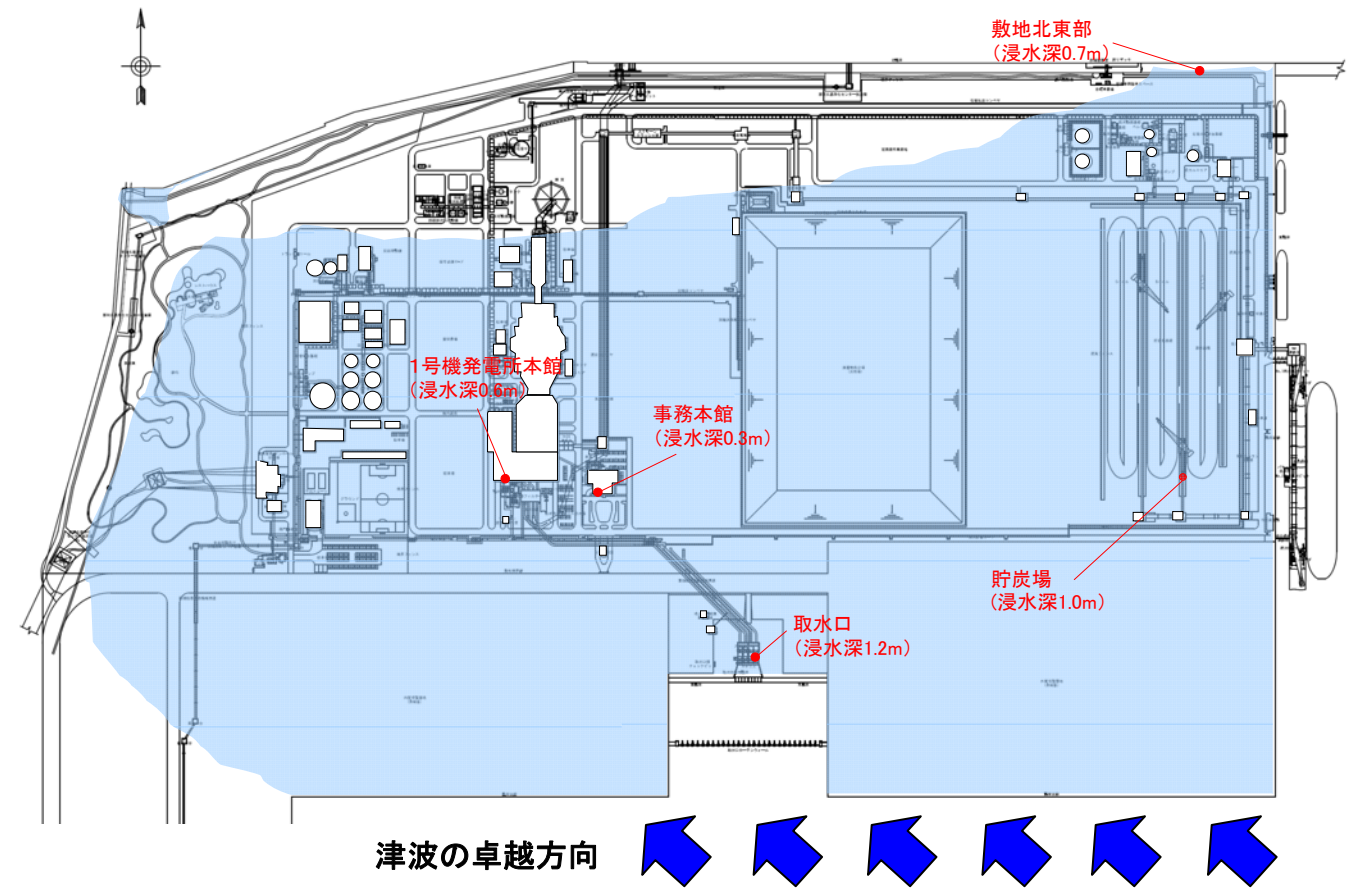
参考資料1 火力発電所 津波浸水範囲



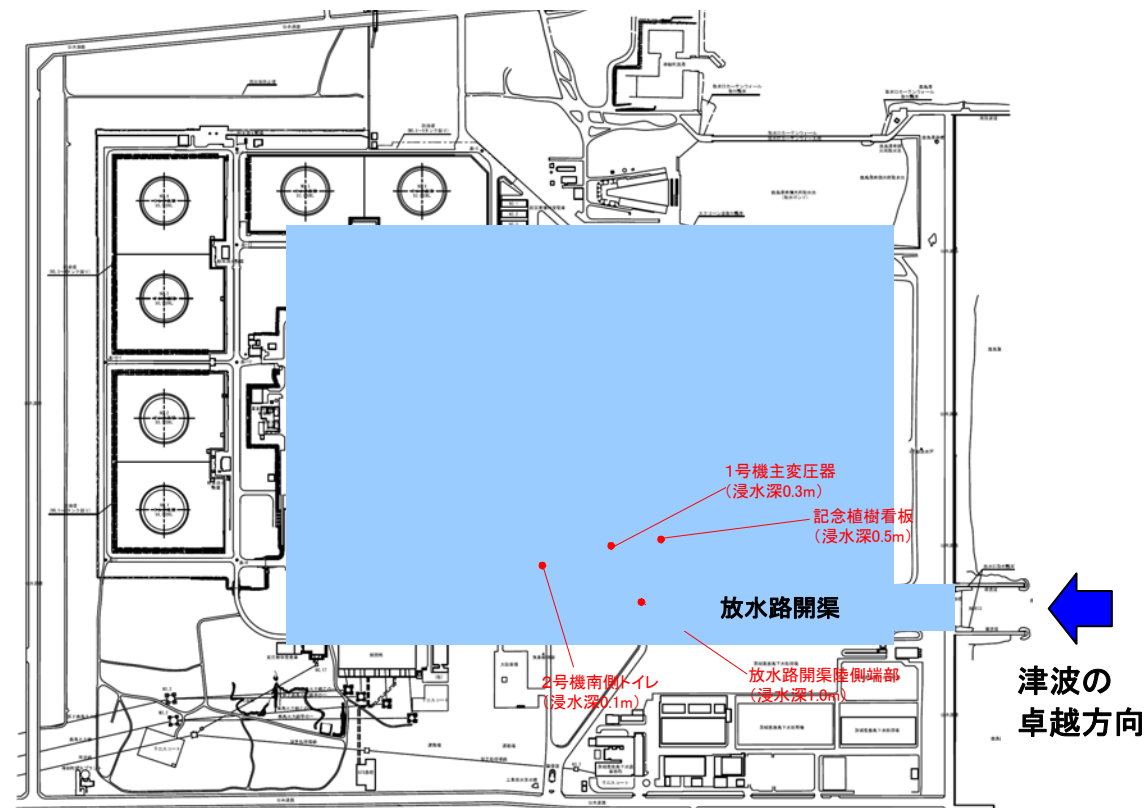
浸水範囲詳細図 「東日本大震災報告書」(土木学会) 参照



東京電力 広野発電所



東京電力 常陸那珂発電所



東京電力 鹿島発電所

事業者名		東北電力		東北電力		東北電力		東北電力			
発電所名		八戸火力(3号)		仙台火力(4号)		新仙台火力(1, 2号)		原町火力(1, 2号)			
所在地		青森県八戸市大字河原木字兵工河原1-1		宮城県宮城郡七ヶ浜町		宮城県仙台市宮城野区港5-2-1		福島県南相馬市原町区金沢大船迫54			
設備概要	全体仕様(運転時期、出力、燃料など)		3号機 25万kW(重油・原油) 1968年8月運転		4号機 44.6万kW(天然ガス) 2010年7月運転		1号機 35万kW(重油) 1971年8月運転 2号機 60万kW(LNG・重油) 1973年6月運転 2011年10月廃止		1号機 100万kW(石炭・重油) 1977年7月運転 2号機 100万kW(石炭・重油) 1998年7月運転		
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	-		-		-		揚炭施設:60,000DWT×2バース 揚油施設他(矢板式岸壁):7,500DWT×1バース他	
			護岸	矢板式護岸 :天端高さT.P.+1.9m		捨石護岸・矢板式護岸 :天端高さT.P.+2.6m~T.P.+3.6m		矢板式護岸・柵式護岸 :天端高さT.P.+3.2m		捨石護岸 :天端高さT.P.+4.1m	
	復水器冷却用水施設	取水口	取水口	鉄筋コンクリート造 取水量:7.2m ³ /s		鉄筋コンクリート造 取水量:10.0m ³ /s		鉄筋コンクリート造 取水量:29.7m ³ /s		鉄筋コンクリート造 取水量:88.6m ³ /s	
			取水路	鉄筋コンクリート造(暗渠)(W2.8m×H2.6m)		鉄筋コンクリート造(暗渠)(W3.0m×H3.0m)		地下埋設鋼管(φ2.2~2.8:2条)		地下埋設鋼管(内径2.8m×4条)	
			放水路	鉄筋コンクリート造(暗渠)(W2.6m×H2.2m)		鉄筋コンクリート造(暗渠)(W3.0m×H3.0m)		鉄筋コンクリート造 (暗渠:W2.8m~3.0×H2.0m、開渠:W10.0m×H2.7m)		地下埋設鋼管(内径2.8m×4条) 鉄筋コンクリート造トンネル(内径4.7m)	
			放水口	ケーソン式放流管方式		鉄筋コンクリート造		鉄筋コンクリート造		ケーソン式放流管方式	
燃料設備	タンク他	原油・重油タンク:25,000KL×3		軽油タンク:150KL×1		-		重油タンク:9,800KL×2, 軽油タンク:900KL×2			
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		HP+3.02m(TP+2.2m)		SP+3.41m(TP+2.5m)		NSP+4.5m(TP+3.7m)		SP+4.96m(TP+4.1m)		
	期望平均満潮位[港名]		CDL+1.503m(TP+0.683m)[八戸港]		CDL+1.6m(TP+0.76m)[仙台港]		CDL+1.6m(TP+0.76m)[仙台港]		CDL+1.5m(TP+0.64m)[相馬港]		
	地下水レベル		GL-0.6m		GL-2.1m~-2.4m		GL-2.5m		GL-2.5m		
	地盤構成		砂層(局所的にシルトを挟む)		上位より盛土・沖積砂質土層・沖積粘土層・沖積礫質土層・凝灰角礫岩等		上位より砂層・凝灰岩等		上位より砂層・シルト岩等		
地盤改良		サンドコンパクションパイル(タンク基礎部)		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル(敷地の一部)		パイプフロア工法		動圧密工法			
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:143gal(八戸火力発電所構内, 地表面) 震度5弱		最大加速度:550gal(仙台火力発電所構内, 地表面) 震度6弱		最大加速度:512gal(新仙台火力発電所構内, 地表面) 震度6弱		最大加速度:735gal(K-NET原町)		
	津波記録(浸水深・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水深:約GL+0.5m⇒構内浸水最大80cm		浸水深:約GL+4.7m(本館1F、全屋外設置機器が冠水)		浸水深:約GL+3.0m(構内全ての1階フロアにある設備が浸水)		浸水深:約GL+13.0m(事務本館の3F上部まで冠水&壊滅的損壊、4F火災発生[翌3/12鎮火])		
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	なし		・取水口護岸のはらみ出し&背面の沈下(最大変位38cm) ・制御盤基礎に沈下・傾き(直接基礎部) 4号機「タービン軸振動大」による自動トリップ、代々崎線&火力連絡線の停電による交流電源喪失⇒非常用ガスタービン並列用遮断器の手動投入により電源確保		・避雷器基礎の沈下・傾き(直接基礎部) ・放水路設備に目地段差、クラックが発生、排水路調整池のクラック ・防潮堤にクラックが発生 ・変圧器防油堤にクラックが発生		・荷役岸壁・タグボート岸壁のはらみ出し(30cm~100cm) ・取放水管路の沈下(5cm~17cm) ・主要変圧器基礎の沈下・クラック ・ろ過水タンク基礎の沈下(11cm) ・重油タンク防油堤破損		
		液状化の有無	なし		津波により液状化発生の有無は不明 ⇒構内敷地の亀裂、構内道路の波打ち		津波により液状化発生の有無は不明		取放水管部で液状化が発生したものと想定(地盤状況より判断)		
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生(津波襲来と重なり詳細把握困難)		構内のごく一部で発生(津波襲来と重なり詳細把握困難)		構内のごく一部で発生(津波襲来と重なり詳細把握困難)		構内のごく一部で発生(津波襲来と重なり詳細把握困難)		
	津波による被害	土木構造物被害	なし ⇒敷地境界フェンスが倒壊 排水路マンホールPC蓋板の水路内落下		防潮堤(約85m) & 構内の手摺・フェンスが転倒・損壊 洗掘による諸機械基礎の不等沈下(写真:屋外消火ポンプ制御盤基礎) 敷地内全域にわたり構内道路の不陸		・護岸(県施設)流出による敷地の洗掘 ・深層取水設備(フローティングフェンス)流出 ・貝処理設備、総合排水処理設備の損壊基礎周辺地盤の洗掘 ・敷地内全域にわたるフェンスの倒壊、構内道路の不陸		・越境防潮堤の損壊(防波堤の被害は無し) ・主要変圧器防火壁倒壊、除塵機損壊 ・放水口連絡橋損壊(落橋) ・取水口ポンプ室の被害 ・荷役護岸、防眩材、揚炭棧橋の損傷 ・除塵装置の損傷 ・敷地内全域にわたるフェンスの倒壊、構内道路の不陸		
	設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	なし		なし⇒		特にボイラー給水ポンプ、各電動機、配管装置等に大きな被害 屋内閉鎖所内の地盤、基礎が大きく陥没、損壊		・重・軽油タンク(各2基)、燃料ポンプ室、総合排水処理設備全壊 ・冠水&大型漂流物の激突により本館1Fの大多数の機械・電気設備が損壊 ・蒸気タービン(本館3F)は地震&津波による衝撃が激しく1号機(運転中)は発電機軸受が焼損 ・ボイラ設備:過熱器管等の耐圧部の損傷 ・電気設備:主変圧器、起動変圧器、所内変圧器ともに全冠水 ・石炭受入れ設備:揚炭機(全4基中)全壊3基、損壊1基、ベルトコンベア1台全壊			
	環境被害(油漏洩など)	なし		なし		なし		なし			
復旧状況	復旧の考え方		特に大きな被害なし。		原型復旧を基本		原型復旧を基本 3号系列リプレース計画を視野に入れた工事計画策定		原型復旧を基本とし、一部設備スリム化を検討。 また、油タンク等は高台へ移設 ・コスト低減に着眼しながら工事を進めた		
	復旧設備、復旧方法、時期		・液状化により基礎陥没被害を受けた燃料油受入配管はサポート架台の修理を実施 ・津波により水没被害を受けた屋外閉鎖所、ケーブルピット、電動機等は洗浄・乾燥後、メガリング測定等で健全性を確認 ・送電線はOFケーブルピットの復旧後受電操作を行いプラント復旧		・被災設備を中心に原型復旧。 ・早期復旧のため寸断された構内道路の仮復旧を実施し、構内一面に散乱しがれき・樹木・土砂等の順次撤去 →復旧資材置き場・作業ヤードの引渡し ・被災した土木設備:地震・津波情報収集、連絡・避難体制を確立した上で、調査・点検・復旧工事を実施		・被災設備を中心に原型復旧 ・早期復旧のため寸断された発電所共用道路・構内道路・敷地護岸の仮復旧を実施し、構内一面に散乱しがれき・樹木・土砂等の順次撤去 →復旧資材置き場・作業ヤードの引渡し ・被災した土木設備:地震・津波情報収集、連絡・避難体制を確立した上で、調査・点検・復旧工事を実施		・被災設備を中心に原型復旧。 ・被災した1、2号機除塵装置の取替、取放水管可とう継手の復旧、取放水管周辺の液状化対策 ・除塵装置:バケッタイプスクリーンの採用により、1水路2台から1水路1台に合理化 ・荷役護岸等の港湾施設や放水路連絡橋:原型復旧 ・構内道路、緑化計画:原型復旧を基本		
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		・震災直後(平成23年3月20日)に運転再開 ・営業運転中		・平成24年2月8日運転再開 ・営業運転中		2号機を廃止し、1号機のみ運転中(H23.12.27 運転開始) 現在、3号機リプレース工事中		・1号機:H25.1.28 試運転開始⇒平成25年4月26日運転再開 2号機:H24.11.3 試運転開始⇒平成25年3月29日運転再開		
今後の展開		復旧工事・リプレース工事において、防潮堤の設置等の津波対策を実施する予定であり、発電所計画にあたっては、津波対策に対して十分検討する必要がある。 今後の災害に備えて留意すべき点は以下の通り。 ・国、自治体の津波対策の動向と発電所固有の状況を踏まえた発電所における想定津波レベル設定と防潮堤整備、漂流物対策、基礎設計等の津波対策の検討 ・設備健全性を適切に評価するとともに、設備の重要度を踏まえ、必要に応じて安全裕度を高める等、地震・津波発生時の耐力向上や災害時における早期復旧性を考慮した設備設計 ・現在の設計手法に加え、大地震発生を前提とし、設備重要度に応じて設備安全裕度を意識した設計手法の検討									

事業者名		東京電力		東京電力		東京電力		東京電力		
発電所名		広野火力(1~5号)		常陸那珂火力(1号)		鹿島火力(1~6号)		千葉火力(1, 2号)		
所在地		福島県双葉郡広野町大字下北迫字ニツ沼58		茨城県那珂郡東海村照沼768-23		茨城県神栖市東和田9		千葉県千葉市中央区蘇我町2丁目1377		
設備概要	全体仕様(運開時期、出力、燃料など)		1号機 60万kW(重油・原油) 1980年4月運開 2号機 60万kW(重油・原油) 1980年7月運開 3号機 100万kW(重油・原油) 1989年6月運開 4号機 100万kW(重油・原油) 1993年1月運開 5号機 60万kW(石炭) 2004年7月運開		1号機 100万kW(石炭) 2003年12月運開		1号機 60万kW(重油・原油) 1971年3月運開 2号機 60万kW(重油・原油) 1971年9月運開 3号機 60万kW(重油・原油) 1972年2月運開 4号機 60万kW(重油・原油) 1972年4月運開 5号機 100万kW(重油・原油) 1974年9月運開 6号機 100万kW(重油・原油) 1975年6月運開		1号系列1~4軸 36万kW×4(LNG) 2000年4月運開 2号系列1~4軸 36万kW×4(LNG) 2000年6月運開	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着機設備	重軽油パース: 5,000DWT 揚炭灰払出パース: 12,500DWT 重油パース: 5,000~10000DWT 物揚場		揚炭棧橋(石炭): 130,000DWT 重軽油パース(重油・軽油): 5,000DWT 石灰石・石膏用パース: 2,000DWT		重原油パース: 5,000DWT 物揚場		物揚場
			護岸	形式: 傾斜堤, 矢板式 天端高さ: HP+5.0m~8.5m		形式: 傾斜堤、ケーソン式混成堤 天端高さ: HP+4.0m~7.0m		形式: 矢板式 天端高さ: YP+3.5~5.0m		形式: 矢板式, 重力式 天端高さ: AP+5.0m
		防波堤	形式: 傾斜型 天端高さ: HP+5.5mm		-		-		-	
	復水器冷却用水施設	取水口	形式: カーテンウォール式 取水量: 26.5m ³ /s(1u,2u,5u)、43.0m ³ /s(3u,4u)		形式: カーテンウォール式 取水量: 45.0m ³ /s		形式: カーテンウォール式 取水量: 19.56m ³ /s(1u,3u)、19.33m ³ /s(2u,4u) 32.33m ³ /s(5u,6u)		形式: カーテンウォール式 取水量: 36.0m ³ /s(1u)、36.0m ³ /s(2u)	
		取水路	地下埋設鋼管(内径2.2~3.0m)		地下埋設鋼管(内径2.8m)		鉄筋コンクリート造暗渠		地下埋設鋼管(内径1.7m)	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠	
燃料設備	放水口	1~4号機: 鉄筋コンクリート造暗渠 5号機: 消波ブロック被覆式開渠(5u)		矢板式開渠		コンクリートブロック張開渠		鉄筋コンクリート造暗渠		
	タンク他	原油・重油タンク: 50,000KL×8 石炭サイロ(建築設備): 3000t×2		軽油タンク: 3,500KL×2		原油・重油タンク: 50,000KL×6		-		
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		HP+5.0m(TP+4.24m)		DL+4.0m(TP+3.11m)		YP+3.5~5.5m(TP+2.59~4.59m)		AP+5.0m(TP+3.87m)	
	期望平均満潮位[港名]		CDL+1.5m(TP+0.61m)[小名浜港]		CDL+1.493m(TP+0.603m)[常陸那珂港]		CDL+1.486m(TP+0.576m)[鹿島港]		(TP+0.966m)[千葉港]	
	地下水レベル		GL-2.0m		GL-2.4m		GL-2.0m		GL-1.0m	
	地盤構成		上位より埋土層、沖積砂層、砂質泥岩		上位より埋土層、沖積砂層・沖積シルト層の互層、砂質泥岩		上位より盛土層、沖積砂層・沖積礫層の互層、洪積層		上位より埋土層、沖積砂層・沖積シルト層の互層、洪積層	
地盤改良		なし		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備下部)		良質土置換(タンク基礎部)		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度: 391gal 計器設置場所: タービン架台 震度6弱、全機停止		最大加速度: 321.0cm/s ² 、最大速度: 52.5cm/s 計器設置場所: 地表面 震度6弱、全機停止		最大加速度: 430.1cm/s ² 、最大速度: 48.0cm/s 計器設置場所: 地表面 震度6弱、全機停止		最大加速度: 126.2cm/s ² 、最大速度: 29.8cm/s 計器設置場所: 地表面 震度5強、1系列停止	
	津波記録(浸水深・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水深: 最大4m程度 ・浸水マップ		浸水深: 最大1.5m程度 ・浸水マップ		浸水深: 約1m以下(事務本館周辺では約0.3m) ・浸水マップ		浸水なし	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・道路段差 ・物揚場護岸はらみだし(20~70cm) 他		・運炭コンベア基礎不陸・蛇行 ・貯炭場排水処理基礎損傷 ・灰捨場遮水壁倒壊・変状 ・雨水排水貯槽の浮き上がり(最大150cm)・排水管損傷 ・道路段差 他		・補機基礎傾き(海水クーラー基礎) ・道路段差 他		一部の護岸ではらみだし(最大7cm) ごく一部の配管基礎・道路沈下	
		液状化の有無	構内のごく一部で発生 (津波襲来と重なり詳細把握困難)		ほぼ敷地全域の無対策地盤で液状化発生、噴砂&過剰間隙水圧消散に伴う沈下(地盤改良箇所での液状化は確認されず)		構内一部で液状化発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず		構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず	
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生		構内各所で地盤沈下発生		構内一部で地盤沈下発生		構内のごく一部で発生	
	津波による被害	土木構造物被害	・瓦礫による構内道路通行不可 ・港湾内の土砂堆積、資機材・車両の落下 ・護岸パラベット転倒、防波堤消波ブロック移動・透過防止矢板損傷 ・燃料パースドルフィン損傷(漂流船舶衝突による) ・一部の防油堤表面被覆ブロックの洗掘(捲れ)等 ・重油パース施設間連絡橋流出 ・取放水路や油タンク基礎など主要設備には顕著な損傷は認められなかった		殆どなし ⇒揚炭パース損傷 瓦礫・車両の構内散乱		・放水路開渠部背面土砂吸出し		なし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし		・接岸荷降中の石炭船の離れおよび衝突により揚炭機(アンローダー)、石炭受入コンベアが損傷		特記事項なし		特記事項なし	
		環境被害(油漏洩など)	なし		なし		なし		なし	
復旧状況	復旧の考え方		発電設備については応急復旧後、原形復旧		発電設備については応急復旧後、原形復旧		発電設備については応急復旧後、原形復旧		設備被害なし	
	復旧設備、復旧方法、時期		・構内道路通行不可【仮復旧】瓦礫・飛散物撤去後、碎石補充等車両通行可能な程度に仮復旧 ⇒【本復旧】原形復旧(H27.3予定) ・護岸施設転倒・移動【仮復旧】なし ⇒【本復旧】原形復旧(H23.9完了) ・燃料パース損傷【仮復旧】No.2パース13番ドルフィンが仮運用可能なことを確認 ⇒【本復旧】原形復旧(H24.5完了) ・港湾内土砂堆積等【仮復旧】なし ⇒【本復旧】堆積土砂・落下物撤去(H23.6完了) ・H23年6月末までに構内道路、油タンク防油堤ほかの仮復旧および港湾内の堆砂・落下物撤去完了		・運炭ベルコン基礎傾斜【仮復旧】仮設トラックホッパー設置、石炭輸送ルート確保 ⇒【本復旧】基礎再構築、コンベア再設置(H23.12完了) ・雨水排水槽浮上がり【仮復旧】なし ⇒【本復旧】傾きが大きいため再構築、構内全域で液状化に伴う沈下が生じているので、幹線の排水勾配を確保するために、流末に位置する当該設備の設置深度を当初から50cm下げて構築(H24.3完了) ・構内道路陥没【仮復旧】碎石補充等車両通行可能な程度に仮復旧 ⇒【本復旧】原形復旧(H26.3予定) ・電気洞道: 躯体下部の液状化対策工の変化点で目地部のズレ発生 ⇒断面図修復後目地部に止水対策実施 ・構内石灰灰処分場の復旧完了 ・雨水排水管の復旧実施中(H24.8現在)		・放水路開渠部仮復旧完了 ・補機基礎(海水クーラー基礎)傾き【仮復旧】機器、配管によるレベル調整 ⇒【本復旧】原形復旧(H24.11未完了) ・構内道路陥没【仮復旧】碎石補充等車両通行可能な程度に仮復旧 ⇒【本復旧】原形復旧(H25.3予定)		設備被害なし	
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		1u: H23.7.3、2u: H23.7.11、3u: H23.7.16、4u: H23.7.14、5u: H23.6.15発電再開 全号機復旧完了		H23.5.15 発電再開 全号機復旧完了		1u: H23.5.16、2u: H23.4.7、3u: H23.4.6、4u: H23.4.1、5u: H23.4.8、6u: H23.4.20 運転再開 全号機復旧完了		震災当日より運転	
今後の展開		・想定津波高さの見直し必要性 ・避難訓練が奏功 ・広野火力で代表される浸水被害を受けた電動機や制御基盤等は洗浄により再利用できるものであり、最大限活用することにより早期復旧を図ったが、構外工業用水ラインが被災したため洗浄水の確保に苦慮した。 ⇒洗浄水だけでなく、火力発電設備の再起動にあたっては工業用水が必要となることから、被災後の早急な確保のために自治体との連携が必要。								

事業者名		東京電力		東京電力		東京電力		相馬共同火力			
発電所名		川崎火力(1号)		東扇島火力(1,2号)		南横浜火力(1~3号)		新地発電所(1,2号)			
所在地		神奈川県川崎市川崎区千鳥町5-1		神奈川県川崎市川崎区東扇島3		神奈川県横浜市磯子区新磯子町37-1		福島県相馬郡新地町駒ヶ嶮今神1-1			
設備概要	全体仕様(運開時期、出力、燃料など)		1号系列1-1軸 50万kW(LNG) 2009年7月運開 1号系列1-2軸 50万kW(LNG) 2008年7月運開 1号系列1-3軸 50万kW(LNG) 2007年6月運開		1号機 100万kW(LNG) 1987年9月運開 2号機 100万kW(LNG) 1991年3月運開		1号機 35万kW(LNG) 1970年5月運開 2号機 35万kW(LNG) 1970年4月運開 3号機 45万kW(LNG) 1973年5月運開		1号機 100万kW(石炭) 1994年7月運開 2号機 100万kW(石炭) 1995年7月運開		
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	物揚場		LNG/バース:130,000m ³ 級 重油/バース:3,500DWT 物揚場		-		揚炭バース:直杭式棧橋 60,000DWT×2 鋼管杭φ1,000~1,400,前面水深CDL-15.5m 重油バース:直杭式棧橋とドルフィン式複合棧橋 5,000DWT,鋼管杭φ800~1,000mm	
			護岸	形式:矢板式,擁壁式 天端高さ:KP+4.0~4.5m		形式:重力式,矢板式 天端高さ:KP+4.0m		形式:混成式(ケーソン式, L型ブロック式), 矢板式 天端高さ:AP+3.6~6.5m		鋼管矢板φ1,200(福島県施工) 天端高CDL+4.0m	
			防波堤	-		-		-		-	
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:36.0m ³ /s		形式:カーテンウォール式 取水量:44.0m ³ /s(1u,2u)		形式:カーテンウォール式 取水量:12.0m ³ /s(1u), 12.17m ³ /s(2u), 15.5m ³ /s(3u)		形式:カーテンウォール式, 鋼管組杭(直杭φ1m斜杭φ0.7m) 取水量:45.0m ³ /s(1u,2u共に)		
		取水路	地下埋設鋼管(内径1.85m)		地下埋設鋼管(内径4.0m)		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造(W5.0m×H5.0m×2連)		
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造(W4.4m×H4.4m×2連)		
放水口		鉄筋コンクリート造開渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造暗渠		鉄筋コンクリート造 (W3.6m×H2.5m×2連, W2.4m×H2.5m×3連)			
燃料設備	タンク他	-		地下式LNGタンク:60,000KL×9		地上式LNGタンク: 25,000KL×1, 35,000KL×2, 45,000KL×1		重油タンク,形式:直接基礎(砕石リング基礎),φ42.4m×t2.0m×W0.5m(基礎)			
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		KP+4.0~4.5m(TP+2.91~3.41m)		KP+3.8~5.0m(TP2.71m~3.91m)		AP+3.6~4.3m(TP+2.47~3.17m)		DL+5.1m(TP+4.24m), DL+4.0m(TP+3.14m):高潮等を考慮		
	期望平均満潮位[港名]		(TP+0.903m)[川崎港]		(TP+0.903m)[川崎港]		(TP+0.903m)[横浜港]		CDL+1.5m(TP+0.64m)[相馬港]		
	地下水レベル		GL-2.4m		GL-3.0~4.0m		GL-1.3m		GL-0.4~1.0m		
	地盤構成		上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層の互層, 洪積層		上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層の互層, 洪積層		上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層・沖積粘土層の互層, 土丹層		基盤が新第三紀鮮新世の竜の口層, その上に第四紀の沖積層		
地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)		なし		重油タンク基礎:載荷盛土(H5.0m)、良質土置換(t4.2m)、SCP(φ700、@1.4m)			
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:108.3cm/s ² 、最大速度:32.5cm/s 計器設置場所:地表面 震度5強		最大加速度:142.3cm/s ² 、最大速度:46.9cm/s 計器設置場所:地表面 震度5強、1機停止		最大加速度:81.3cm/s ² 、最大速度:22.6cm/s 計器設置場所:地表面 震度5弱		最大加速度:ポイラ1F 371.9gal、タービン2F 585.1gal		
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水なし		浸水なし		浸水なし		構内全域において、2~3m程度冠水。		
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	ごく一部の配管基礎・側溝等の沈下		ごく一部の道路・フェンス・側溝・ゲート等の沈下		ごく一部の道路・土間コンクリート等の沈下		道路陥没 他		
		液状化の有無	構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず		構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず		構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず		構内各所で液状化発生 但し、地盤改良部位での液状化はなし。		
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生		構内のごく一部で発生		構内のごく一部で発生		構内各所で地盤沈下発生		
	津波による被害	土木構造物被害	なし		なし		なし		・5号埠頭 埠頭監視室前管理用道路流出他 ・揚炭・揚油バース鋼管杭防食カバー損傷・流出 ・沖防波堤:ほとんどが没水(国交省が所管、L=2,730m)		
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし		特記事項なし		特記事項なし		・接岸荷降中の石炭船の離れおよび衝突により揚炭機(アンローダー)が損傷 ・石炭船に接続の石炭受入コンベアが衝撃で損傷 ・揚炭バース床版一部損傷、重油バース施設間連絡橋流出		
		環境被害(油漏洩など)	なし		なし		なし		座礁船(石炭船)より油流出		
復旧状況	復旧の考え方		設備被害なし		原形復旧		設備被害なし		発電設備については原形復旧		
	復旧設備、復旧方法、時期		設備被害なし		道路・フェンス・側溝・ゲート等の復旧完了		設備被害なし		・H24年3月30日復旧工事の一部を残し完了予定 PR館(H24年4月着手予定) 発電所東側周囲柵(新地町用水路復旧工事の為) ・オイルフェンス巻き取り機基礎:アンカーボルトの再設置(コアドリリングによる既設除去) ・既設護岸鋼管矢板:グラウンドアンカー設置+捨石による根固め補強 ・防舷材の再設置、防食カバーの復旧 ・沈下→空隙発生部:エアモルタルによる空隙充填 他		
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		震災当日より運転		1u:H23.3.24 運転再開 全号機復旧完了		震災当日より運転		1号機 2011年12月27日 並列 2号機 2011年12月19日 並列		
今後の展開								・想定津波高さの見直し必要性 ・避難訓練が奏功 ・貯炭場北側の協力会社事務所孤立⇒避難道路設置			

事業者名		常磐共同火力		鹿島共同火力		
発電所名		勿来発電所(6~9号)		鹿島共同(1~4号)		
所在地		福島県いわき市佐糠町大島20		茨城県鹿嶋市新浜5		
設備概要	全体仕様(運転時期、出力、燃料など)		6号機 17.5万kW(重油) 1966年11月運転 7号機 25.0万kW(石炭) 1970年10月運転 8号機 60.0万kW(石炭) 1983年9月運転 9号機 60.0万kW(石炭・重油) 1983年12月運転		1号 35万kW(高炉ガス・重油他) 1973年7月運転 2号 35万kW(高炉ガス・重油他) 1973年12月運転※ 3号 35万kW(高炉ガス・重油他) 1982年2月運転 4号 35万kW(高炉ガス・重油他) 1982年3月運転 ※長期計画停止中	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	公共の小名浜港を利用		
			護岸	公共の小名浜港を利用		
			防波堤	防潮堤(公共の防潮堤) 天端高さ:TP+4.5m、TP+6.2m		
	復水器冷却用水施設	取水口	取水口	形式:バースクリーン式 取水量:24.0m ³ /s(6・7u)、40.0m ³ /s×2(8・9u)		
			取水路	トンネル 13.515m ² (6・7u) トンネル 17.756m ² (8・9u)		
			放水路	ボックスカルバート 12.414m ² (6・7u) ボックスカルバート 17.757m ² (8・9u)		
			放水口	形式:開渠式 放水量:25.0m ³ /s(1&2u)、30.5m ³ /s(3&4u)		
燃料設備	タンク他	重油タンク:1.5万KL×1基、2万KL×3基				
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		TP+2.457m		YP+5.0m(TP+4.16m)	
	期望平均満潮位[港名]		CDL+1.5m(TP+0.61m)[小名浜港]		CDL+1.486m(TP+0.576m)[鹿島港]	
	地下水レベル		GL-1.457m		GL-0.2m	
	地盤構成		基新第三期多賀層の砂岩シルト、洪積層 基盤(N値50)までの深さ:約5~35m		第四紀砂質土層	
	地盤改良		なし		なし	
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:470.9gal(震度6弱) 計器設置場所:8・9号タービン架台2階(TP+7.257m) 最大加速度:356gal(K-NET勿来)		最大加速度:359cm/s ² 、最大速度:不明 計器設置場所:タービン架台2F GL+4.45m	
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		小名浜:3.33m 構内浸水深:約1.8m(TP+4.257m) 防潮堤越波高さ:TP+4.5m以上TP+6.2m未満		浸水なし	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・復水器冷却用水施設に伸縮目地損傷、ひび割れ発生 ・取水口側崖が崩落 ・燃料輸送用洞道(トンネル+ボックスカルバート):伸縮目地にズレ ・重油タンクの沈下、破損		・取水路内土砂流入、水槽関係浮き上がり ・燃料タンク防油堤傾斜 ・水路等点検口の破断 ・埋設排水管断裂、道路陥没 他	
		液状化の有無	・設備基礎(直接基礎)沈下(20~50cm程度) ・構内道路沈下(20~150cm程度)・ひびわれ・陥没 ・側溝沈下・損傷		構内各所で液状化発生	
		地盤沈下状況	構内各所で地盤沈下発生		構内各所で地盤沈下発生	
	津波による被害	土木構造物被害	港湾設備:被害甚大 防潮堤:発電所北側⇒津波の越波により殆ど破壊		なし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	なし		なし	
環境被害(油漏洩など)	なし		なし			
復旧状況	復旧の考え方		発電設備については原形復旧		発電設備については応急復旧後、原形復旧。	
	復旧設備、復旧方法、時期		・港湾設備:国・県で復旧中 ・防潮堤:トンバック土叢をTP+4.5m積み(仮防潮堤) ⇒県計画では再構築する予定(TP+7.2m) ・伸縮目地:漏水が殆どない部分無処置、目地損傷部再構築 ・取水口:側崖の崩落土砂撤去 ・設備基礎:場所打ち杭を設置し、基礎を再構築 ・道路:舗装打替え&オーバーレイ、側溝:入替え&嵩上げ			
	発電所の稼動状況(H24.2月時点)		6u:H24.4.21(長期計画停止からの復旧)、7u:H23.12.21、8u:H23.7.17、 9u:H23.6.30 発電開始 全号機復旧完了		1u:H23.4.16、3u:H23.6.7、4u:H23.7.20 発電開始 全号機復旧完了	
今後の展開		・復水器冷却用水施設については余震が続く中でドライアップしての詳細調査が殆ど出来なかったため、全線を完全ドライアップして詳細調査を行い、水路の補修を実施する		・土木設備重要度区分の設定 ・液状化未対策部分への簡易対策方法の検討 ・地下埋設物の浮き上がり防止		

水力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果

事業者名		東北電力		東北電力		東北電力	
発電所名		四時川第二		移川発電所		川上発電所	
所在地		福島県いわき市田人町		福島県田村郡三春町		福島県東白川郡塙町	
水系		鮫川水系四時川		阿武隈川水系移川		久慈川水系川上川	
全体仕様(運開時期、出力、発電型式など)		昭和2年7月運開、1230kW、水路式 最大使用水量:1.67m ³ /s 有効落差:104.24m		大正15年3月運開、330kW、水路式 最大使用水量:1.11m ³ /s 有効落差:39.20m		大正3年2月運開、800kW、水路式 最大使用水量:2.50m ³ /s 有効落差:38.79m	
設備概要	主要土木設備仕様	ダム	ダム型式	コンクリート重力式ダム	コンクリート重力式ダム	コンクリート重力式ダム	
			寸法	長さ24.00m, 高さ5.10m	長さ27.95m, 高さ5.80m	長さ24.30m, 高さ3.25m	
			容量	—	—	—	
		導水路	暗きよ, トンネル, 水路橋: 長さ2,959.35m	トンネル, 暗きよ, 逆サイフォン, 導水管: 長さ1,193.51m	暗きよ: 長さ628.50m		
		水槽	コンクリート造り: 長さ15.00m, 幅7.00~1.80m 高さ2.75~1.85m	鉄筋コンクリート造り: 長さ16.00m, 幅6.40m 高さ3.65~1.95m	コンクリート造り: 長さ21.50m, 幅4.80~2.70m 高さ3.40~2.81m		
		水路管	コンクリート: 長さ11.50m	鋼管: 長さ50.08m	—		
		サージタンク	—	—	—		
		水圧管路	溶接鋼管: 長さ288.606m, 内径0.91m	溶接鋼管: 長さ63.699m, 内径1.02~0.70m	銲接および溶接鋼管: 長さ74.843m, 内径1.35~0.93m		
発電所	地上式	地上式	地上式				
放水路	コンクリート造り: 長さ29.00m, 幅1.82m 高さ1.94m	鉄筋コンクリート造り: 長さ14.70m, 幅2.80~4.00m 高さ0.85~1.50m	鉄筋コンクリート造り: 長さ6.40m, 幅4.50~2.30m 高さ6.48~2.15m				
地下水位		—		—		—	
地盤状況		地形: 浸食を受けた山地の痩せ尾根部を通過 地質: 花崗岩、崩壊した導水路~水槽間基礎の一部が風化したマサ土		地質: 水槽基礎部は花崗岩、損壊した水槽基礎の一部が風化したマサ土		不明	
地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		水平合成最大加速度: 673gal 上下方向最大化速度: 604gal 観測地点: 東北電力いわき変電所(いわき市遠野町 震度階: 6弱(SI値60cm/s))		近傍の観測データ無し		近傍の観測データ無し	
津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		—		—		—	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	水槽の上流地点で地山が崩落し水路が破損した。 公衆災害無し	水槽から漏水が発生し、地山が侵食され、水槽および水圧鉄管の一部が破損、また周辺地山が洗掘した。 公衆災害無し	導水路上部の地山が崩落し、落石により導水路の一部が破損した。 公衆災害無し		
		液状化の有無	無	無	無		
		地盤沈下状況	無	無	無		
	津波による被害	土木構造物被害	—	—	—		
設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの) 環境被害(油漏洩など)		—	—	—			
復旧状況	復旧の考え方	原形復旧では痩せ尾根部への施工となるため、水槽を移設、水圧管を延長し、復旧する計画とした。	原形復旧する計画とした。	破損したヒューム管部分をコンクリート2次製品のヒューム管と取り替える計画とした。			
	復旧設備、復旧方法、時期、復旧に要した期間、運転再開日	破損箇所が国有保安林に位置し、工事実施には国有保安林解除手続きが必要となるため、平成25年12月申請済、現在審査中	復旧方法: 水槽の1/2程度を取壊し、鉄筋コンクリートで原形復旧 水圧鉄管の破損箇所は原形復旧 地山洗掘箇所の上層はコンクリート打設、下部は盛土、表面保護工を施工 復旧に要した期間: H23.10~H24.7 運転再開日: 平成24年6月	復旧方法: 破損した既設ヒューム管(現場製作)を2次製品のヒューム管に取り替え 復旧に要した期間: H23.8~H24.3 運転再開日: 平成24年3月			
	発電所の稼働状況(H26.7月時点)	停止中	運転中	運転中			
復旧の為に技術的課題、知見等		特になし		特になし		特になし	
設計に関する情報		延長部の水圧管について高耐圧ポリエチレン管を採用。管体自体の可とう性により地盤変位時の追従性が高い。		特になし		特になし	
災害事象に対する考察		地震動により導水路が位置する痩せ尾根部に小崩壊が発生し、これに起因する漏水により地山が徐々に侵食し、導水路が破損したものと推測される。		地震動により水槽にクラックが生じ、同部位より漏水が発生、一部の基礎部地山が徐々に侵食し、水槽および水圧鉄管の一部が破損したものと推測される。		導水路上部の地山が崩落し、落石により導水路の一部が破損した。	
今後の展開		・最新の土砂災害危険箇所を把握し、発電所重点点検ポイントとして管理していく。		発電所重点点検ポイントとして管理していく。		発電所重点点検ポイントとして管理していく。	
その他		当社関連グループ会社が水力発電事業主体となっている水力発電設備における被害は無し。					

水力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果

	事業者名	東京電力		東京電力	
	発電所名	塩原発電所		沼の倉発電所	
	所在地	栃木県那須塩原市塩原		福島県耶麻郡猪苗代町	
	水系	鍋有沢川・小蛇尾川		阿賀野川水系長瀬川	
	全体仕様(運開時期、出力、発電型式など)	平成6年6月運開、900,000kW、ダム水路式 最大使用水量:324.0m ³ /s 有効落差:338.00m		昭和21年12月運開、18,900kw、水路式 最大使用水量:76.85m ³ /s 有効落差:27.71m	
設備概要	主要土木設備仕様	ダム	ダム型式	アスファルト表面遮水壁型ロックフィルダム(上部ダム)	—
			寸法	高さ:90.5m、頂長:263.0m	—
			容量	7,600,000m ³	—
		導水路	圧力隧道	1,465.85m	蓋渠、開渠;こう長2,106.431m
		水槽	—	—	鉄筋コンクリート造り;長さ118.000m、幅10.700m~21.700m、高さ4.250m~8.300m
		水路管	—	—	—
		サージタンク	制水口水室式 制水口 内径:4.100m 下部構造 内張管SM41B 高さ:66.662m 内径:13.000m 厚さ:15~38mm 上部構造 鉄筋コンクリート造 高さ:38.000m 内径:13.000m	—	—
		水圧管路	溶接鋼管 長さ592.904m, 615.393m, 635.682m 内径:8~2.6m SM50B SM58Q HT80 厚さ:22~78mm	—	1号管(鉄筋コンクリート管および溶接鋼管);長さ250.602m、内径3.800m~3.504m、2号管(溶接鋼管);長さ246.882m、内径3.800m~3.100m
発電所	地下式鉄筋コンクリート造 高さ:52.1m 幅28.0m 長さ163.0m	—	地上式		
放水路	圧力隧道 条数:3 長さ:244.36m, 240.18m, 236.08m 内径:4.800m	—	練石およびコンクリート造り;長さ746.415m、幅10.450m~21.150m		
地盤情報	地下水レベル		—	—	
	地盤状況		凝灰岩主体の地域(一部玢岩を含む)に上部ダムがある	泥流堆積物を主体とする地域に水路、水槽、発電所等の構造物が立地している	
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		上部ダム最大加速度: 53gal(ダム基礎ダム軸方向), 253gal(ダム天端上下流方向)	最大加速度 EW276gal 計器設置場所 K-NET FKS020(猪苗代)	
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		—	—	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	アスファルト表面遮水壁の一部ひび割れが発生 漏水量が若干増加した (左右岸アバットより約20mの位置に、天端から左岸側66.5m、右岸側78.2mの長さのひび割れ。)	開水路側壁のクラック 開渠背面盛土の沈下	
		液状化の有無	—	—	
		地盤沈下状況	—	—	
	津波による被害	土木構造物被害	—	—	
設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの) 環境被害(油漏洩など)		—	—		
復旧状況	復旧の考え方		ひび割れ部の遮水層を除去したうえで再舗設する。	—	
	復旧設備、復旧方法、時期、復旧に要した期間、運転再開日		復旧設備:アスファルト遮水壁 復旧工事概要: ひび割れ部上部遮水層2層目までを切削除去、3層目ひび割れ部を幅10cm程度でUカット 低弾性アスファルトを使用したアスファルトマスチックを充填 その上部にアスファルト含浸不織布シートを布設 切削した上部遮水層2層を再度舗設 復旧工事期間:H23/4/16~5/22 上記復旧工事の他、天端コンクリートジョイント部での歪み集中を緩和する対策工事を実施	開水路を固定する為のロックボルト打設 復旧工事時期:H23年5月初旬~6月下旬、H23/6/26運転再開	
	発電所の稼働状況(H26.7月時点)		復旧完了	運転中	
復旧の為の技術的課題、知見等		ひび割れ発生メカニズムの推定 表面遮水壁の亀裂深度調査手法	—	特になし	
設計に関する情報		—	—	なし	
災害事象に対する考察		表面遮水壁のひび割れは、天端コンクリートブロックのジョイント開口に伴うひずみ集中が要因と推察された。	—	開水路側壁背面の人工盛土からの土圧作用により、開水路側壁にクラックが生じたものと推測される。	
今後の展開		遮水壁に変状のないことを日常点検や計測監視等により確認する。	—	定点での定期観測による設備状態の把握	
その他		—	—	—	

水力発電所 被害状況・復旧状況 調査結果

事業者名		電源開発株式会社		東京発電(株)		東京発電(株)	
発電所名		沼原発電所		石岡第一		花貫川第二	
所在地		栃木県黒磯市板室		茨城県北茨城市中郷町		茨城県高萩市大熊	
水系		那珂川 - 那珂川		大北川水系大北川		花貫川水系花貫川	
全体仕様(運開時期、出力、発電型式など)		昭和48年6月30日運開、675,000kW、ダム水路式(純揚水) 最大使用水量:172.5m ³ /s(揚水時:144.0m ³ /s) 有効落差:478.0m		明治44年10月運開、5,500kw、水路式 最大使用水量:3.90m ³ /s 有効落差:161.10m		大正9年1月運開、750kw、水路式 最大使用水量:0.834m ³ /s 有効落差:112.60m	
設備概要	主要土木設備仕様	ダム	ダム型式	アスファルト表面遮水壁型ロックフィルダム	コンクリート重力式ダム	表面張石コンクリートダム	
			寸法	高さ:90.5m、頂長:263.1m	長さ30.0m、高さ6.2m	長さ8.02m、高さ2.5m	
			容量				
		導水路	圧力隧道 1,430.0 (m)	隧道、暗渠、開渠、水路橋:こう長 2,567.65m	隧道、暗渠、開渠:こう長 1,302.9m		
		水槽		コンクリート造 長さ35.87m、幅2.76~6.98m 高さ2.33~4.32m	表面張石コンクリート造 長さ19.85m 幅3.55~7.15m 高さ3.715~4.323m		
		水路管	1,3号×806.7 2号×795.6 m	コンクリート内張鋼管 長さ264.15m	鉄筋コンクリート管 長さ260.54m		
		サージタンク	制水口水室式	鉄筋コンクリート造 単胴式 高さ10.19m 内径4.52m	鉄筋コンクリート造 単胴式 高さ18.9m 内径2.48~2.00m		
		水圧管路		溶接鋼管 長さ568.37m 内径1.60~0.90m	鋸接鋼管 長さ182.88m 内径0.758~0.450m		
発電所	地下式	地上式	地上式				
放水路		コンクリート造 長さ2.45m 幅2.50m 高さ2.25m	コンクリート造 長さ13.48m 幅1.818m 高さ0.90m				
地下水位		-		-		-	
地盤状況		上池:花崗岩類の基盤上に火山性堆積層 水路・地下発電所:主に花崗岩類		地形:風化、浸食を受けた山地の痩せ尾根部を通過 地質:花崗岩、水槽基礎は風化したマサ		地形:風化、浸食を受けた山地の痩せ尾根部を通過 地質:花崗岩、水槽~サージタンク間は風化したマサ	
地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:ダム基礎部210gal,ダム天端部347gal 計器設置場所:ダム基礎部1箇所,ダム天端部2箇所		最大加速度 EW588.1gal 卓越周期0.4s 継続時間200s 計器設置場所 K-NET IBR002 高萩(離隔距離 7.2km)		最大加速度 EW588.1gal 卓越周期0.4s 継続時間200s 計器設置場所 K-NET IBR002 高萩(離隔距離 7.4km)	
津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		-		-		-	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	アスファルト表面遮水壁にクラックが生じた ダム監査廊への漏水量が、最大1,063(l/分)(地震前は数l/分)まで増加する損傷 (総延長1,547m、幅最大2mmのひび割れ、発生位置は地山部と盛土部の境界付近。)	水槽付近の地山崩落と水槽崩壊 水槽周辺の石積崩壊 水槽~サージタンク間の水路管盛土の地割れ 水圧鉄管小支台と水圧鉄管路敷の亀裂発生	水路管の破損と亀裂の発生 サージタンク既存ヘアークラックの開口 水圧鉄管小支台の破損		
		液状化の有無	-	-	-		
		地盤沈下状況	-	-	-		
	土木構造物被害	-	-	-			
津波による被害	設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの) 環境被害(油漏洩など)	-	-	-			
復旧状況	復旧の考え方	堤体変位等の異常はないことから、クラックが生じた表面遮水壁を対象とする補修を行う。 早期運転再開・遮水性・耐久性等を考慮し、オーバーレイ工法を採用。		水槽付近の崩落地山は仮押えとし、水槽復旧を優先		水路管破損部の復旧を優先 続いて亀裂の漏水防止対策を実施	
	復旧設備、復旧方法、時期、復旧に要した期間、運転再開日	復旧設備:アスファルト遮水壁(4/26~6/22) クラック部開削 クラック充填 クラック防止シート 舗装工(オーバーレイ工法) 表面保護工 運転再開日:H23/7/17		水槽:旧水槽崩壊により、上流部の余地に鉄筋コンクリート造の水槽を新設 規模は旧水槽の1/2程度 新水槽と水路管はFRPM管により接合 水路管盛土:地割れ部を整形し転圧 水圧鉄管部:はつり除去しコンクリート打設 時期:H23.3/下~6/下、6/29運開		水路管:掘削し、破損部を除去し、コンクリート打設 亀裂:一次対策工として、明確に認識できるものの漏水処理を実施し、充水時に異常箇所を二次対策工として実施 水圧鉄管部:はつり除去しコンクリート打設 時期:H23.4/中~6/下、6/22運開	
	発電所の稼働状況(H26.7月時点)	運転中		運転中		運転中	
復旧の為の技術的課題、知見等		・全長1500m以上の補修を斜面上で早期に長期遮水性・耐久性を確保すること ・雪氷滑落による衝撃により補修部が損傷しないこと ・気温変化により変動するクラック幅に補修部が追従できること		-		-	
設計に関する情報		補修仕様(オーバーレイ工法):①クラック部をU字カットし、ゴム化アスファルト充填②その上にクラック防止シート(クラックのオーバーレイ部への伝達を防止)を敷設③さらに5cm厚のアスファルト合材(既設と同等の性状)で被覆(雪氷の衝撃を減少させるため、表面は平滑化し、端部は緩勾配のテーパーを設けた)		-		-	
災害事象に対する考察		ダム変形に伴うひずみが、被災時の低い気温(-10℃)におけるアスファルトの限界ひずみを超過し、アスファルト表面遮水壁にクラックが発生したものと推測される。限界ひずみと解析上の最大ひずみは同程度であった。		-		-	
今後の展開		通常のモニタリングに加え、補修箇所の温度・ひずみ計測等を継続実施。また、補修材の暴露試験を実施。		-		水路管、サージタンクの構造再設計と改造(H25~)	
その他							

参考資料 4 火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (1/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
東北電力	八戸火力発電所	【地震】燃料油受入配管基礎陥没被害	仮復旧：なし 本復旧：サポート架台の修理を実施	仮復旧：－ 本復旧：H23.3	発電のための重要構造物であり、 発電再開までに復旧必要	3u：H23.3.20
	仙台火力発電所	【地震】取水口護岸のはらみ出し (最大変位 38cm)	仮復旧：なし 本復旧：なし	仮復旧：－ 本復旧：－	現状、運転には支障はないもの の、長期的維持管理上から検討中。	4u：H24.2.8
		【地震】制御盤基礎に沈下・傾き (直接基礎部)	仮復旧：なし 本復旧：撤去・打替や、矯正により原形復旧	仮復旧：－ 本復旧：H23.10	運転再開にあわせ本復旧を実施。	
		【津波】防潮堤(約 85m)が転倒・損壊	仮復旧：トンパック設置 本復旧：コンクリート打替による原形復旧 (想定津波高さ見直しを踏まえて嵩上げ予定)	仮復旧：H23.9 本復旧：H24.2 (H25 予定)	当面の高潮被害等回避のため、 仮・本復旧(原形)を実施。(後日嵩上 げを予定)	
	新仙台火力発電所	【地震】避雷器基礎の沈下・傾き (直接基礎部)	仮復旧：なし 本復旧：ジャッキアップで基礎矯正のうえ地盤改良	仮復旧：－ 本復旧：H23.9	運転再開にあわせ本復旧を実施。	1u：H23.12.27
		【地震】放水路設備に目地段差、クラック が発生	仮復旧：なし 本復旧：撤去・打替により原形復旧	仮復旧：－ 本復旧：H27 予定	運転再開にあわせ本復旧を実施。	
		【地震】防潮堤にクラックが発生	仮復旧：なし 本復旧：想定津波高さ見直しを踏まえた復旧時に実施予定	仮復旧：－ 本復旧：H25 予定	現状、高潮等に問題がある被害で はないため本復旧待ち	
		【地震】変圧器防油堤にクラックが発生	仮復旧：なし 本復旧：撤去・打替により原形復旧	仮復旧：－ 本復旧：H23.11	運転再開にあわせ本復旧を実施。	
		【津波】護岸(県施設)流出による敷地の 洗掘	仮復旧：トンパック設置 本復旧：土砂埋立	仮復旧：H23.8 本復旧：H24 予定	敷地洗掘抑制のため仮復旧。本復 旧は県護岸復旧時期と整合。	
		【津波】深層取水設備(フローティングフ ェンス)流出	仮復旧：なし 本復旧：撤去・新設	仮復旧：なし 本復旧：H24.6	既設フローティングフェンスを 撤去し固定式に改良	
【津波】貝処理設備の損壊		仮復旧：なし 本復旧：未定	仮復旧：－ 本復旧：未定	設備存続・廃止について検討中。		

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (2/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
東北電力	原町火力発電所	【地震】荷役護岸のはらみ出し (30cm~100cm)	仮復旧：なし 本復旧：既設矢板護岸を撤去し、背面に新たに鋼管矢板（控杭式）を新設復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.11 末	発電再開に係る荷役作業のため、発電再開までに復旧が必要	1u：H25.4.26 2u：H25.3.29
		【地震】取放水管の沈下 (5cm~17cm)	仮復旧：なし 本復旧：可とう継手周辺地盤の液状化対策および可とう継手を復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.7 末	発電のための重要構造物であり、発電再開までに復旧必要	
		【地震】主要変圧器基礎の沈下・クラック	仮復旧：なし 本復旧：基礎下の空隙部をセメント系注入材で充填	仮復旧：－ 本復旧：H24.1 末	発電のための重要機器であり、発電再開までに復旧必要	
		【地震】ろ過水タンク基礎の沈下 (11cm)	仮復旧：なし 本復旧：不等沈下がなく基礎欠損部のみ補修	仮復旧：－ 本復旧：H24.8 末	発電のための重要構造物であり、発電再開までに復旧必要	
		【津波】重油タンク防油堤破損	仮復旧：なし 本復旧：軽油タンクを高台へ新設・復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.10 末	起動用の補助燃料として発電再開までに復旧必要	
		【津波】越波防潮堤の損壊	仮復旧：なし 本復旧：損壊部を原形復旧	仮復旧：－ 本復旧：H25.3 末	特になし	
		【津波】主要変圧器防火壁倒壊	仮復旧：なし 本復旧：一部壁厚を増厚し復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.6 末	防火対策設備として発電再開までに復旧必要	
		【津波】除塵機損壊	仮復旧：なし 本復旧：既設を撤去し全面復旧（バケット型スクリーン採用により1水路2台から1水路1台に合理化）	仮復旧：－ 本復旧：H24.10 末	発電のための重要機器であり、発電再開までに復旧必要	
		【津波】放水口連絡橋損壊	仮復旧：なし 本復旧：既設上部工を撤去のうえ架設・復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.9 末	発電再開作業のため通行可能と発電再開までに復旧必要	

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (3/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
東京電力	広野火力発電所	【津波】 構内道路通行不可	仮復旧：がれき・飛散物等を撤去し、砕石補充等で車両通行可能な程度に仮復旧 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.4 末 本復旧：H27.3 末	仮復旧は他復旧工事のために必要であり、早急を実施。	1u：H23.7.3 2u：H23.7.11 3u：H23.7.16
		【津波】 護岸上部工滑動・転倒	仮復旧：なし 本復旧：原形復旧	仮復旧： 本復旧：H23.9 末		4u：H23.7.14 5u：H23.6.15
		【津波】 燃料バース一部損傷	仮復旧：No.2 バース 13 番ドルフィン仮運用可能なことを確認 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.5 初旬 本復旧：H24.5 末	発電再開に必要	
		【津波】 港湾内への土砂堆積，資機材・車両落下	仮復旧：なし 本復旧：堆積土砂・落下物撤去	仮復旧： 本復旧：H23.6 末	発電再開に必要	
		【津波】 燃料油タンク防油堤一部損傷	仮復旧：なし 本復旧：法面ブロック部をモルタル吹き付け等により復旧	仮復旧： 本復旧：H25.3 末	発電再開に必要	
常陸那珂火力発電所	常陸那珂火力発電所	【地震】 運炭コンベア基礎の傾斜・変状	仮復旧：仮設のトラックホッパーを設置し、石炭輸送ルートを確認 本復旧：基礎を再構築後、コンベアを再設置	仮復旧：H23.5 末 本復旧：H23.12 末	発電再開に必要であり、早急に復旧するため仮復旧を実施。	1u：H23.5.15
		【地震】 灰処分場遮水壁倒壊・変状	仮復旧：なし 本復旧：鋼矢板および地盤改良による遮水壁を再構築	仮復旧： 本復旧：H23.6 中旬	発電再開に必要	
		【地震】 貯炭場排水貯槽浮き上り	仮復旧：なし 本復旧：隣接地に再構築後、既設撤去	仮復旧： 本復旧：H23.12 上旬		
		【地震】 雨水排水槽浮上がり	仮復旧：なし 本復旧：幹線の排水勾配を確保するために設置深度を当初から 50cm 下げて再構築	仮復旧： 本復旧：H24.3	発電所再開に必要	
		【地震】 道路陥没	仮復旧：砕石補充等で車両通行可能な程度に仮復旧 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.3 中旬 本復旧：H26.3 予定	仮復旧は他復旧工事のために必要であり、早急を実施。	
		【地震】 電気洞道躯体下部の液状化対策工の変化点で目地部のズレ発生	仮復旧：断面図修復後目地部に止水対策実施 本復旧：原形復旧		発電所再開に必要	
鹿島火力発電所	鹿島火力発電所	【津波】 放水路開渠部背面土砂吸出し	仮復旧：水中部を先行しコンクリートにより復旧 本復旧：開渠法面ブロック部をコンクリートにより復旧	仮復旧：H23.4 上旬 本復旧：H26.6 末		1u：H23.5.16 2u：H23.4.7
		【地震】 補機基礎傾き (海水クーラー基礎)	仮復旧：機器並びに配管によるレベル調整 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.4 上旬 本復旧：H24.11 末	発電再開に必要であり、早急に復旧するため仮復旧を実施	3u：H23.4.6 4u：H23.4.1
		【地震】 道路陥没	仮復旧：砕石補充等で車両通行可能な程度に仮復旧 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.3 中旬 本復旧：H25.3 予定	仮復旧は他復旧工事のために必要であり、早急を実施。	5u：H23.4.8 6u：H23.4.20

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (4/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
相馬共同 火力	新地発電所	【地震】道路陥没	仮復旧：砕石補充で車両通行可能な程度に仮復旧 本復旧：原形復旧	仮復旧：H23.4 本復旧：H23.10	発電再開に必要であり、早急に復旧するため仮復旧を実施。	1u：H23.12.27 2u：H23.12.19
		【津波】5号埠頭 埠頭監視室前管理用道路流出	仮復旧：なし 本復旧：原形復旧	仮復旧： 本復旧：H24.3	石炭船入港（H24.2中旬）に必要	
		【津波】揚炭・揚油バース鋼管杭防食カバー損傷・流出	仮復旧：なし 本復旧：原形復旧（FRPをチタンに変更）	仮復旧： 本復旧：H24.1	石炭船入港（H24.2中旬）に必要	
		【津波】沖防波堤没水	仮復旧： 本復旧：	仮復旧： 本復旧：H28.3末	石炭船入港に必要であり、早急の復旧が望まれるが、国交省が所管（L=2,730m）	
		【 】オイルフェンス巻き取り機基礎	仮復旧：－ 本復旧：アンカーボルト再設置（コアドリングによる既設除去）	仮復旧： 本復旧：H24.2	石炭船入港（H24.2中旬）に必要	
		【 】既設護岸鋼管矢板	仮復旧：－ 本復旧：グラウトアンカー設置＋捨石による根固め補強	仮復旧： 本復旧：H24.1	外郭施設保護に必要	
		【 】防舷材	仮復旧：No.22をNo.19に移設 本復旧：購入品をNo.19に設置、既設品は、No.22に移設	仮復旧：H24.1 本復旧：H24.9	石炭船入港（H24.2中旬）に必要	

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (5/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
常磐共同 火力	勿来発電所	【地震】第1取水路(6,7号機用) ホックスカハートの伸縮目地にズレ(上下に5cm程度)	仮復旧: 漏水がほとんど無いため、処置せず 本復旧: 全線をドライアップして詳細調査の予定	仮復旧: - 本復旧:	H24.11に調査予定	6u: H24.4.21 7u: H23.12.21 8u: H23.7.17 9u: H23.6.30
		【地震】第1送水路(6,7号機用) ひび割れ	仮復旧: 導水処理の上防水モルタルで修理 本復旧: 全線をドライアップして詳細調査の予定	仮復旧: 本復旧:	H24.11に調査予定	
		【地震】第1分水・余水路(6,7号機用) ホックスカハートの伸縮目地間の離れ(10cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 導水処理の上防水モルタルで修理	本復旧: H23.12		
		【地震】第2取水路(8,9号機用) 取水口側崖が崩落	仮復旧: - 本復旧: 崩落土砂撤去	仮復旧: 本復旧:		
		【地震】第2取水路(8,9号機用)	仮復旧: - 本復旧: 全線をドライアップして詳細調査の予定	本復旧:	9号用 H24.5に調査完了(問題なし) 8号用 H25.5に調査予定	
		【地震】第2分水路(8,9号機用) ひび割れ	仮復旧: 導水処理の上防水モルタルで修理 本復旧: -	仮復旧: H23.6 本復旧:	9号用 H24.6に修理完了	
		【地震】第2放水路(8,9号機用) ホックスカハートの伸縮目地間の離れ(10cm程度)	仮復旧: 伸縮目地再構築 本復旧: -	仮復旧: H23.6 本復旧:	8号用 H24.4~6に修理予定	
		【地震】燃料輸送用洞道 ホックスカハートの伸縮目地にズレ(上下に5cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 導水処理の上防水モルタルで修理	仮復旧: - 本復旧: H23.6		
		【地震】0Fケーブル洞道 ホックスカハートの伸縮目地にズレ(上下に5cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 導水処理の上防水モルタルで修理	仮復旧: - 本復旧: H23.6		
		【地震】重軽油配管基礎(直接基礎、2基) 液状化により沈下(20~50cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 場所打ち杭を設置し、基礎を再構築	仮復旧: - 本復旧: H23.6	発電再開に必要(完了)	
		【地震】アンモニア配管基礎(直接基礎、1基) 液状化により沈下(20~50cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 場所打ち杭を設置し、基礎を再構築	仮復旧: - 本復旧: H23.6		
		【地震】8,9号機海水ブースターポンプ基礎(直接基礎、4基) 液状化により沈下(20~50cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 場所打ち杭を設置し、基礎を再構築	仮復旧: - 本復旧: H23.6		
		【地震】バルコンパア基礎(直接基礎、1基) 液状化により沈下(20~50cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 場所打ち杭を設置し、基礎を再構築	仮復旧: - 本復旧: H23.6		
【地震】蒸留水タンク基礎(直接基礎、2基) 液状化により沈下(20~50cm程度)	仮復旧: - 本復旧: 場所打ち杭を設置し、基礎を再構築	仮復旧: - 本復旧: H23.6				

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (6/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
常磐共同 火力	勿来発電所	【地震】その他基礎 液状化により沈下 (20~50cm程度)	仮復旧：－ 本復旧：ペDESTAL等をモルタルで修理	仮復旧：－ 本復旧：H24.12	発電再開に必要なものは早期に修 理	6u：H24.4.21 7u：H23.12.21
		【地震】6,7号2次循環水ポンプ場軌条基 礎(直接基礎 L=24.3m) 液状化により 沈下(30~70cm程度)	仮復旧：－ 本復旧：軌道下部の地盤改良(一部場所打杭)を行い、基 礎を再構築	仮復旧：－ 本復旧：H23.12		8u：H23.7.17 9u：H23.6.30
		【地震】加圧・灰流P槽軌条基礎(直接基 礎 L=23.1m) 液状化により沈下(30~ 70cm程度)	仮復旧：－ 本復旧：軌道下部の地盤改良(一部場所打杭)を行い、基 礎を再構築	仮復旧：－ 本復旧：H23.12		
		【地震】構内道路 液状化による沈下(20 ~150cm程度)、道路のひび割れ・陥没、側 溝の沈下・破損	仮復旧：－ 本復旧：舗装の打替え・オーバーレイ、側溝の入替え・嵩 上げ	仮復旧：－ 本復旧：H24.3		
		【 】港湾設備(公共施設) 被害甚大	国、県で復旧	仮復旧： 本復旧：	県でH27年度までに復旧の予定	
		【津波】防潮堤(公共施設) ズレや沈下、 破壊	仮復旧：トンパツク土嚢積み 本復旧：TP+7.2mの防潮堤を構築予定(県が実施)	仮復旧： 本復旧：		

火力発電所 各構造物・施設・設備ごとの復旧状況 (7/7)

電力会社	発電所名	土木設備被害	復旧方法 (仮復旧、本復旧)	復旧完了時期	発電再開との関連	運転再開日
鹿島共同 火力	鹿島共同発電所	【地震】取水路内土砂流入	仮復旧：なし 本復旧：サンドポンプによる排砂、管損傷部は溶接	仮復旧：－ 本復旧：H23.4 中	発電再開に必要	1u：H23.4.16 2u： 長期計画停止中 3u：H23.6.7 4u：H23.7.20
		【地震】水槽関係浮き上り（雨水排水槽）	仮復旧：なし 本復旧：水槽への埋設配管破断箇所を再接続	仮復旧：H23.3 末 本復旧：H23.9 末	発電再開に直接関係するものではないが、発電所運営上に必要。	
		【地震】燃料タンク防油堤傾斜	仮復旧：トンパック設置 本復旧：撤去後、原形復旧	仮復旧：H23.3 末 本復旧：H24.3 中	発電再開に必要であるが、別の健全なタンクで運用可能だったため、当該タンク防油堤は再開後に復旧工事を実施。	
		【地震】水路等点検口の破断	仮復旧：なし 本復旧：撤去後、原形復旧	仮復旧：－ 本復旧：H24.2 末	発電再開に直接関係するものではなく、定検時点検口として必要	
		【地震】埋設雨水排水管断裂	仮復旧：MH間を水中ポンプによる移送 本復旧：排水ルート新設及び断裂箇所のコンクリート巻き	仮復旧：H23.3 末 本復旧：H23.9 末	発電再開に直接関係するものではないが、発電所運営上に必要。	
		【地震】道路寸断（凹凸）	仮復旧：舗装剥がし、碎石敷き均し 本復旧：撤去後、原形復旧（アスファルト舗装）	仮復旧：H23.3 末 本復旧：H24.5 末	発電再開に必要	

参考資料5 火力発電所 各発電所ヒアリング結果、参考写真

次ページ以降に、各火力発電所より提供された情報を示す。

■情報収集状況

今後、網掛け部分については情報収集を行う予定である。

電力会社	発電所名	発電所諸元 カタログ 被害状況等	被害状況 写真	復旧状況 写真	その他
東北電力	八戸火力発電所	○	被害なし (津波襲来と重なり 詳細把握困難)		
	仙台火力発電所	○	○	○	
	新仙台火力発電所	○	○	○	
	原町火力発電所	○	○	○	
東京電力	広野火力発電所	○	○		
	常陸那珂火力発電所	○	○		
	鹿島火力発電所	○	○		
	千葉火力発電所	○	△地図のみ		
	五井火力発電所	—	被害なし	—	—
	姉崎火力発電所	—	被害なし	—	—
	袖ヶ浦火力発電所	—	被害なし	—	—
	富津火力発電所	—	被害なし	—	—
	品川火力発電所	—	被害なし	—	—
	大井火力発電所	—	被害なし	—	—
	川崎火力発電所	○	△地図のみ		
	東扇島火力発電所	○	△地図のみ		
	横浜火力発電所	—	被害なし	—	—
	南横浜火力発電所	○	△地図のみ		
横須賀火力発電所	—	被害なし	—	—	
電源開発	磯子火力発電所	—	被害なし	—	—
相馬共同火力	新地発電所	○	○	○	復旧状況説明他
常磐共同火力	勿来発電所	○	○		
鹿島共同火力	鹿島共同発電所	○	○	○	
君津共同火力	君津共同発電所	—	被害なし	—	—

東北電力 八戸火力発電所

■事業者名

東北電力株式会社

■発電所名

八戸火力発電所

■設備概要

・全体仕様

3号機		
建設工事着工	昭和41年1月	
営業運転開始	昭和43年8月	
ボイラ	型式	IHI-FW単胴放射形再熱式
	圧力・温度	17.1Mpa (175kg/cm ²)・569/540℃
	最大連続蒸発量	860t/h
タービン	燃料	重油・原油
	型式・最終段翼長	3気筒4流排気再熱式・26インチ
	蒸気(圧力・温度)	16.57Mpa (169kg/cm ²) ¹ ・566/538℃
発電機	出力・回転数	250,000kW ² ・3,000r.p.m
	型式・冷却方式	横軸円筒回転界磁形・水素冷却
	容量・力率・電圧	290,000kVA・90%・15,000V
主要変圧器	型式・容量	三相屋外形送油風冷式・280,000kVA
	電圧	一次:14.6kV・二次:154kV
集じん器装置	型式	電気式
排水処理装置	処理ガス量	721,000m ³ N/h
	型式	4脚鉄塔支持型双筒鋼製
煙突	高さ	120m ³
	燃料貯蔵施設	重油・原油タンク 25,000kl×3基
発電所敷地面積	平成20年3月現在	313,225m ² ⁴

1号機 (出力7.5kW)
 建設工事着工 昭和31年9月
 営業運転開始 昭和33年6月
 廃止 昭和57年4月
 撤去工事完了 昭和58年11月

2号機 (出力7.5kW)
 建設工事着工 昭和31年9月
 営業運転開始 昭和33年10月
 廃止 昭和57年4月
 撤去工事完了 昭和58年11月

4号機 (出力25kW)
 建設工事着工 昭和45年10月
 営業運転開始 昭和47年8月
 廃止 平成18年4月
 撤去工事完了 平成19年7月

メガソーラー設備概要
 建設工事着工 平成23年2月
 営業運転開始 平成24年1月
 出力 1,500kW
 発電電力量 約160万kWh/年
 CO2削減効果 年間約800トン



		八戸火力(3号)		
設備概要	全体仕様		パンフレット参照	
	発電所配置図		発電所平面参照	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	—
			護岸	矢板式護岸 :天端高さT.P.+1.9m
			防波堤	—
		復水器冷却用水施設	取水口	鉄筋コンクリート造 取水量:7.2m ³ /s
			取水路	鉄筋コンクリート造(暗渠) (幅2.8m×高さ2.6m)
			放水路	鉄筋コンクリート造(暗渠) (幅2.6m×高さ2.2m)
	燃料設備	タンク	原油・重油タンク:3基;25,000kl	
	地盤情報	敷地レベル		T.P.+2.2m
地下水レベル		T.P.+1.6m		
地盤構成		砂層(局所的にシルトを挟む)		
地盤改良		サンドコンパクションパイル (タンク基礎部)		
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	なし	
		液状化の有無	なし	
		地盤沈下状況 (国土地理院の公表データ)	構内のごく一部で発生 (津波襲来と重なり詳細把握困難)	
	津波による被害	土木構造物被害	なし	
復旧状況	復旧の考え方		特に大きな被害なし。	
	復旧設備, 復旧方法, 時		・特になし。 ・震災直後に運転再開	
	発電所の稼働状況		営業運転中	
今後の展開		復旧工事・リプレース工事において, 防潮堤の設置等の津波対策を実施する予定であり, 発電所計画にあたっては, 津波対策に対して十分検討する必要がある。 TP=HP-0.82m		

東北電力 仙台火力発電所

- 事業者名
東北電力株式会社
- 発電所名
仙台火力発電所
- 設備概要
・全体仕様

仙台火力4号機の概要

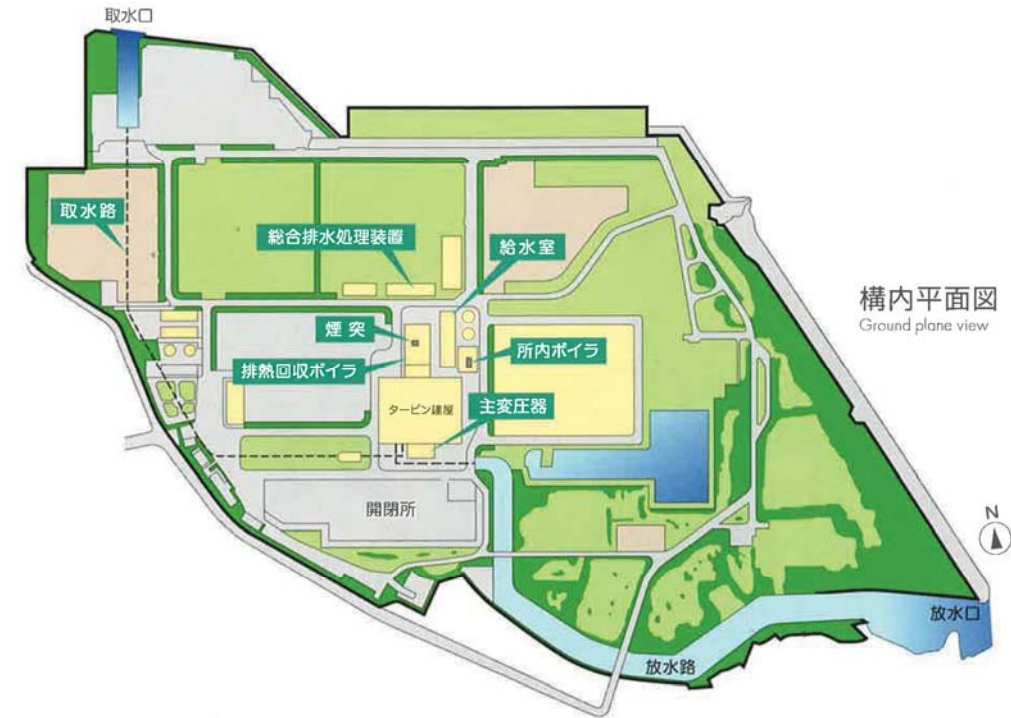
Sendai Thermal Power Station - Unit 4 Outline

仙台火力4号機はコンバインドサイクル発電としては、当社初の一軸形を採用し、ガスタービン・蒸気タービンと発電機を同一軸に配置しております。燃料は環境にやさしい天然ガスを使用し、硫黄酸化物やばいじんの発生はありません。そのため、煙突の高さを59mに抑え、景観にも配慮した設備としています。

As the first single-shaft combined cycle generator, Unit 4's gas turbine, steam turbine, and generator are arranged on the same shaft. Operating on more environmentally friendly natural gas, the power plant emits no sulfur oxides or dust, which enables us to limit flue heights to 59 m to preserve the landscape views.

仙台火力4号機発電設備概要

項目		4号機
定格出力		446,000 kW
ガスタービン (GT)	種類	開放単純サイクル一軸形
	入口ガス温度	1400℃級
	燃焼器	空気冷却
蒸気タービン (ST)	種類	くし形二流排気式／再熱混圧復水形
	止め弁入口圧力／温度	高压:約11.80 MPa／550℃
		再熱:約2.87 MPa／566℃
	低压:約0.38 MPa／249℃	
排熱回収ボイラ (HRSG)	種類	排熱回収三重圧式 縦型(直上煙突)
発電機	種類	横軸円筒回転界磁形／同期発電機



Outline of Sendai Thermal Power Station's Unit 4 power generation

Item		Unit 4
Rated output		446,000 kW
Gas turbine (GT)	Type	Open simple-cycle single-shaft type
	Input gas temperature	1,400°C-class
	Combustor	Air-cooling
Steam turbine (ST)	Type	Comb-shaped two-flow exhaust/reheat mixed-pressure condensation
	Stop valve input pressure/temperature	High pressure: approx. 11.80 MPa/550℃
		Re-combustion: approx. 2.87 MPa/566℃
	Low pressure: approx. 0.38 MPa/249℃	
Heat recovery steam generator (HRSG)	Type	Heat recovery triple-pressure Vertical (flue directly above)
Generator	Type	Horizontal shaft tubular revolving field/synchronous generator

		仙台火力(4号)		
設備概要	全体仕様		パンフレット参照	
	発電所配置図		発電所平面参照	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	—
			護岸	捨石護岸・矢板式護岸 :天端高さT.P.+2.6m~T.P.+3.6m
			防波堤	—
		復水器冷却用水施設	取水口	鉄筋コンクリート造 取水量:10.0m ³ /s
			取水路	鉄筋コンクリート造(暗渠) (幅3.0m×高さ3.0m)
			放水路	鉄筋コンクリート造(暗渠) (幅3.0m×高さ3.0m)
			放水口	鉄筋コンクリート造
	燃料設備	タンク	軽油タンク:1基;150kl	
地盤情報	敷地レベル		T.P.+2.5m	
	地下水レベル		T.P.+0.4m~+0.1m	
	地盤構成		上位より盛土・沖積砂質土層・ 沖積粘土層・沖積礫質土層・凝灰角礫岩等	
	地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクション パイル(敷地の一部)	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・取水口護岸のはらみ出し ・制御盤基礎に沈下・傾き	
		液状化の有無	津波により液状化発生の有無は不明	
		地盤沈下状況 (国土地理院の公表データ)		
	津波による被害	土木構造物被害	防潮堤(約85m)が転倒・損壊	
復旧状況	復旧の考え方		原型復旧を基本	
	復旧設備, 復旧方法, 時		・被災設備を中心に原型復旧。 ・平成24年2月運転再開	
	発電所の稼働状況		営業運転中	
今後の展開			復旧工事・リプレース工事において, 防潮堤の設置等の津波対策を実施する予定であり, 発電所計画にあたっては, 津波対策に対して十分検討する必要がある。	

TP=SP-0.91m

震災状況 (平成23年3月15日撮影)



写真-2 取水口スクリーン他 被災状況



復旧状況



写真-3 防潮堤被災状況



復旧状況



写真-1 発電所入口ガレキ散乱状況



復旧状況



写真-4 構内土砂堆積・道路洗掘状況



復旧状況

東北電力 新仙台火力発電所

- 事業者名
東北電力株式会社
- 発電所名
新仙台火力発電所
- 設備概要
・全体仕様

新仙台火力発電所の施設

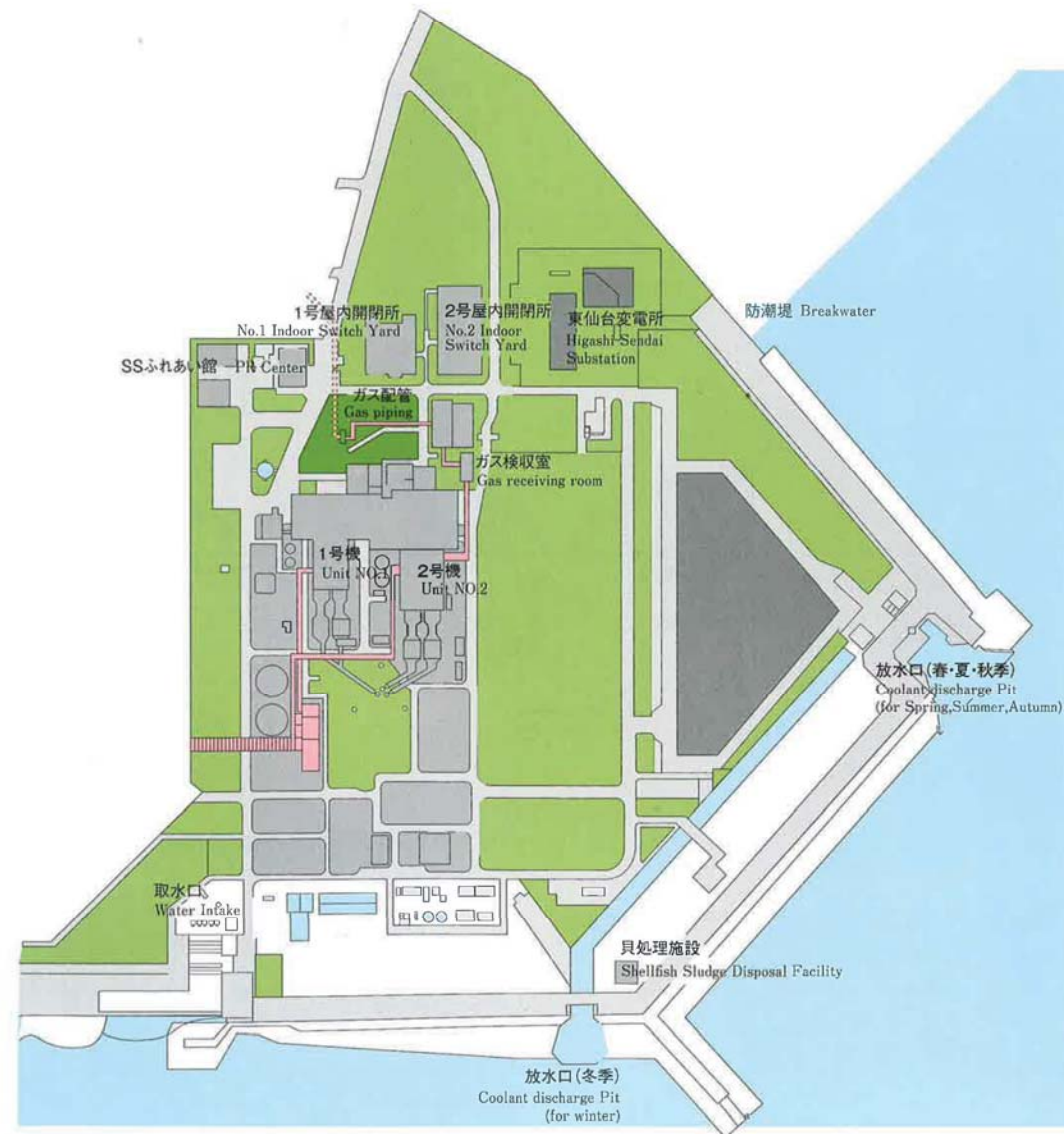
FACILITIES OF SHIN-SENDAI THERMAL POWER STATION

主な設備・機器一覧

敷地面積/約32万5,000m²
(東京ドームの約7.2倍)
緑化面積/約8万m²(敷地面積の25%)
発電機出力/1号機 35万kW
2号機 60万kW
使用燃料/1号機 重油
2号機 天然ガス、重油
煙突/1,2号集合形式(高さ約180m)

LIST OF MAIN EQUIPMENT AND MACHINERY:

Land Area:325,000m²
(about 7.2 times of Tokyo Dome)
Greenbelt/about 80,000m²(25% of land area)
Generator Power/Unit No.1-----350MW
Unit No.2-----600MW
Fuel used/Unit No.1-----Heavy oil
Unit No.2-----Natural gas,Heavy oil,crude oil
Stack/Unit No.1 and 2 collective type(height at about 180m)



		新仙台火力(1, 2号)		
設備概要	全体仕様		パンフレット参照	
	発電所配置図		発電所平面参照	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	—
			護岸	矢板式護岸・棚式護岸 :天端高さT.P.+3.2m
			防波堤	—
		復水器冷却用水施設	取水口	鉄筋コンクリート造 取水量:29.7m ³ /s
			取水路	地下埋設鋼管 (φ2.2~2.8:2条)
			放水路	鉄筋コンクリート造(暗渠・開渠) (暗渠:幅2.8m~3.0×高さ2.0m) (開渠:幅10.0m×高さ2.7m)
			放水口	鉄筋コンクリート造
	燃料設備	タンク	—	
地盤情報	敷地レベル		T.P.+3.7m	
	地下水レベル		T.P.+1.2m	
	地盤構成		上位より砂層・凝灰岩等	
	地盤改良		パイプロフローテーション工法	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・避雷器基礎の沈下・傾き(直接基礎部) ・放水路設備に目地段差,クラックが発生 ・防潮堤にクラックが発生 ・変圧器防油堤にクラックが発生	
		液状化の有無	津波により液状化発生の有無は不明	
	津波による被害	土木構造物被害	・護岸(県施設)流出による敷地の洗掘 ・深層取水設備(フローティングフェンス)流出 ・貝処理設備の損壊	
復旧状況	復旧の考え方		原型復旧を基本	
	復旧設備, 復旧方法, 時		・被災設備を中心に原型復旧。 ・平成23年12月運転再開	
	発電所の稼働状況		2号機を廃止し, 1号機のみ運転中 現在, 3号機リプレース工事中	
今後の展開		復旧工事・リプレース工事において, 防潮堤の設置等の津波対策を実施する予定であり, 発電所計画にあたっては, 津波対策に対して十分検討する必要がある。		

TP=NSP-0.80m

震災状況 (平成23年3月15日撮影)



写真-3 敷地護岸洗堀状況



復旧状況

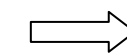


写真-4 貝処理建屋基礎洗堀状況



復旧状況

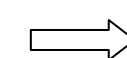


写真-1 発電所進入路被災状況



復旧状況

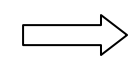


写真-2 構内道路被災状況



復旧状況

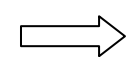


写真-5 取水口除塵機付近ガレキ状況



復旧状況

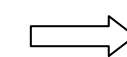


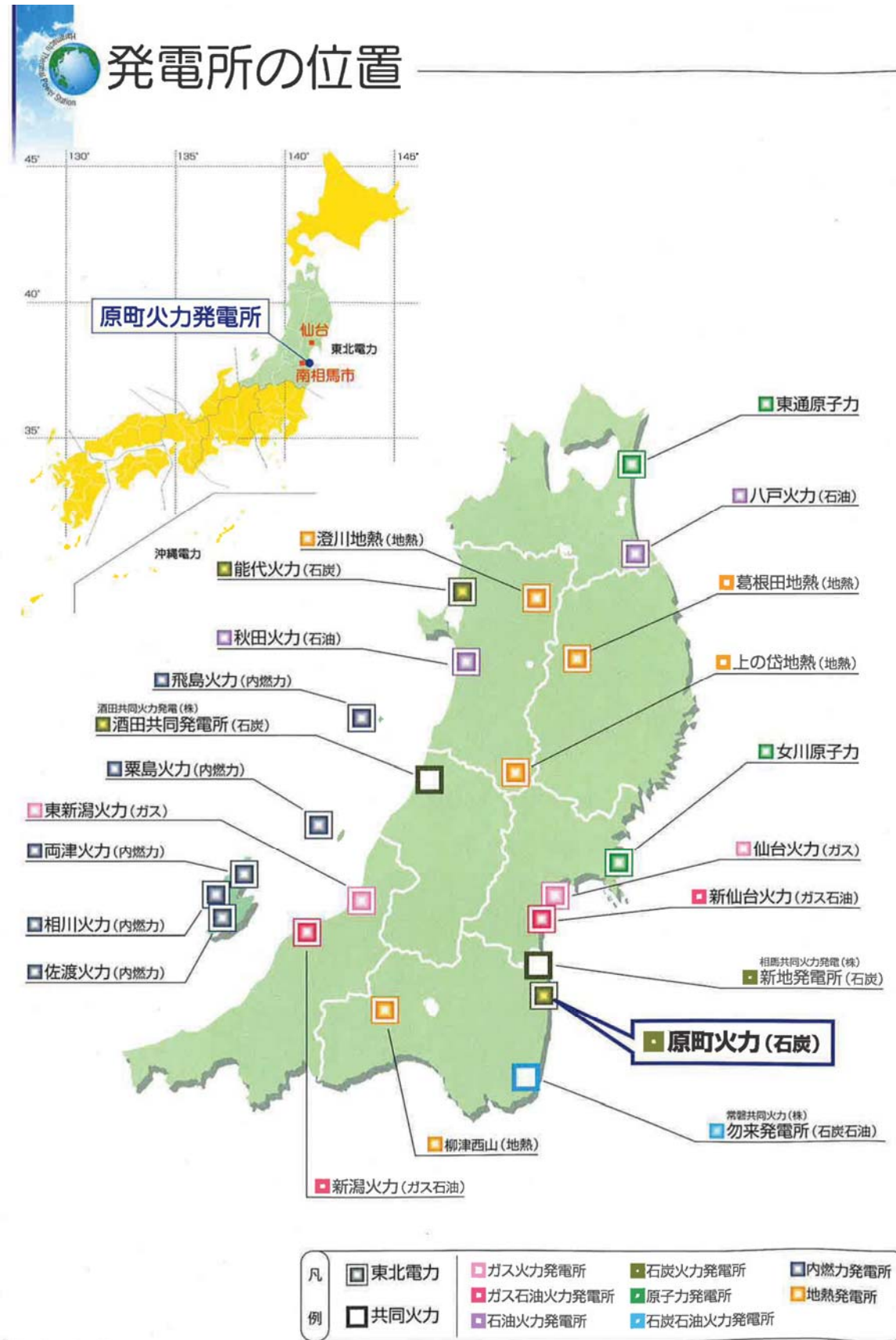
写真-6 排水路調整池クラック状況



復旧状況

東北電力 原町火力発電所

- 事業者名
東北電力株式会社
- 発電所名
原町火力発電所
- 設備概要
・全体仕様



■発電所のあゆみ

昭和52年	1月	原町市議会が「火力立地推進に関する決議案」を可決	平成6年	2月	2号機 着工
	9月	鹿島町議会が「火力建設の協力に関する決議案」を可決	平成8年	7月	石炭船第1号入港(オセアニアグローリー)
	11月	福島県に対して火力建設について申し入れを行う		9月	1号機 ボイラ火入れ
昭和53年	3月	福島県から火力建設について了承の旨の回答を得る	平成9年	7月	1号機 営業運転開始
昭和55年	3月	主燃料を重・原油とLPGで第80回電源開発調整審議会にて電源開発基本計画組入れが承認される		8月	2号機 ボイラ火入れ 環境施設オーシャンフィールド一般開放
		地権者会と「発電所用地買収に関する協定書」締結	平成10年	6月	(社)日本産業機械工業会主催 第24回優秀環境装置表彰受賞「膜式排煙脱硫排水処理装置の共同開発」
昭和58年	3月	福島県漁連会長・関係7漁協組合長と「漁業補償協定」締結		7月	2号機 営業運転開始
平成元年	11月	第113回電源開発調整審議会にて燃料変更(石炭専焼)が承認される		10月	埋蔵文化財保存館の一般公開
平成2年	2月	福島県・原町市・鹿島町と「建設工事に伴う公害防止に関する覚書」締結	平成12年	2月	ISO14001認証取得
	3月	敷地造成工事開始	平成13年	7月	第1種無災害記録達成
	11月	公有水面埋立工事開始	平成17年	6月	臭処理装置運転開始
平成4年	10月	福島県・原町市・鹿島町と「公害防止協定」締結	平成19年	7月	1号機 運転開始10周年
	11月	1号機 電気工作物変更許可	平成20年	7月	2号機 運転開始10周年
平成5年	2月	1号機 着工	平成21年	10月	割田地区石炭灰埋立地運用開始
	10月	2号機 電気工作物変更許可	平成22年	5月	発電所見学者5万人達成

主要設備概要

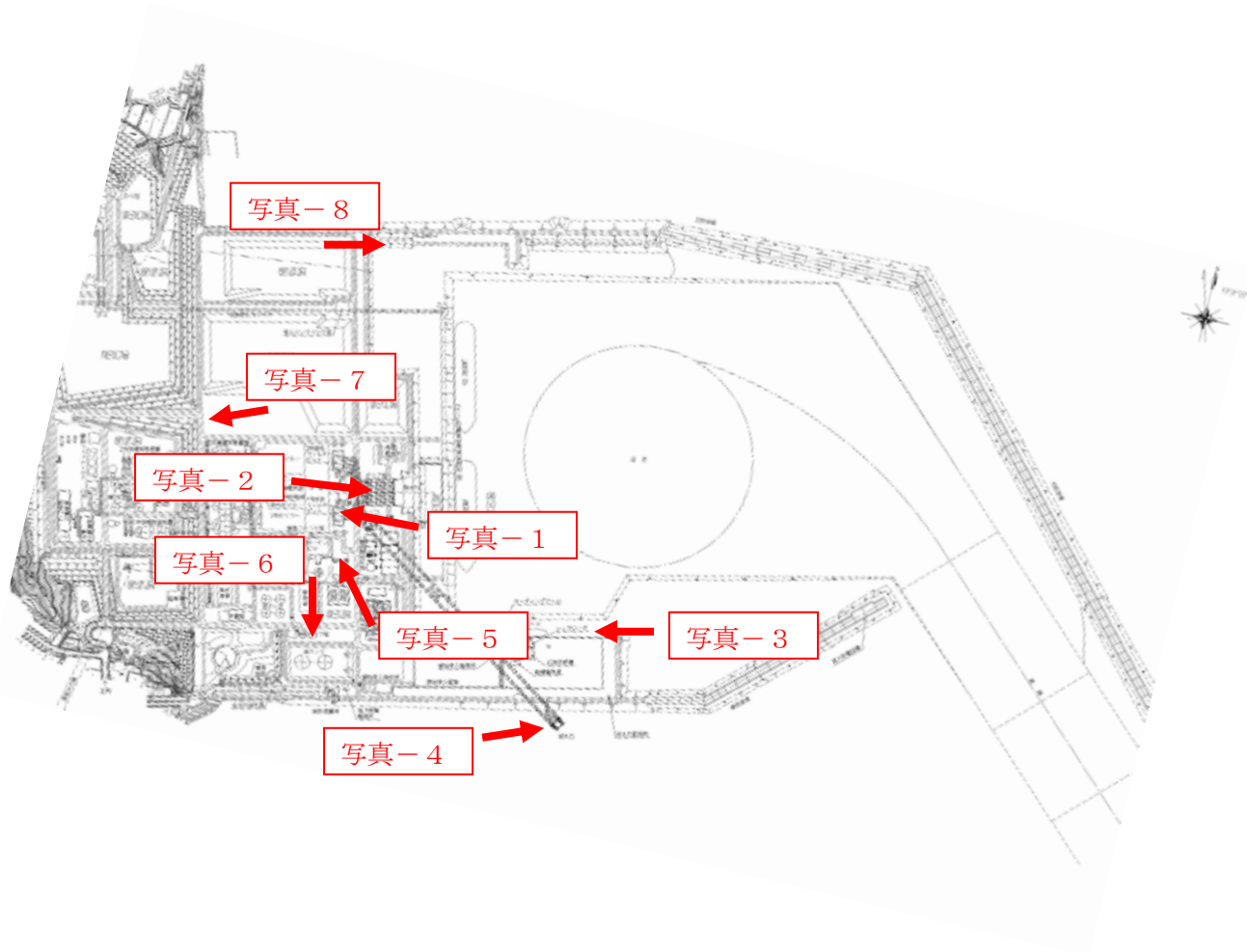
項目		1号機	2号機
着工		平成5年2月	平成6年2月
運転開始		平成9年7月	平成10年7月
出力		100万kW	
ボイラ	型式	放射再熱式貫流型	
	圧力	25.40MPa (259kg/cm ²)	
	温度	570/595℃	604/602℃
	蒸発量	2,970t/h(最大連続)	2,890t/h(最大連続)
	燃料	石炭(微粉炭)、重油(30%MCR)	石炭(微粉炭)、重油(35%ECR)
タービン	型式	二軸型4車室4流排気式再熱復水型	
	最終段翼長	41インチ	
	蒸気圧力	24.52/4.17MPa(250/42.5kg/cm ²)	24.52/4.33MPa(250/44.2kg/cm ²)
	蒸気温度	566/593℃	600/600℃
	出力	562,630/437,370kW	572,389/427,611kW
発電機	回転数	3,000/1,500rpm	
	型式	横置円筒回転界磁型同期発電機	
	冷却方式	固定子：水直接冷却、回転子：水素直接冷却	
	容量	639,600/486,000kVA	652,900/475,200kVA
主変圧器	力率電圧	90%(遅れ)、20,000V	
	型式	屋外型送油風冷式(負荷時タップ切替装置付)	
	容量	1,050,00kVA	
復水器	電圧	1次:19.5kV 2次:275kV+12.5/-25.0kV(19タップ付)	
	型式	表面接触半区分単流形	
	冷却面積	42,980m ²	45,050m ²
	細管材料	チタン(TTH35W)	
	冷却水量	44.3m ³ /s	37.3m ³ /s
所内ボイラ	冷却水出入口温度差	≤7℃	
	型式	二胴型水缶式自然循環型(屋外)	
	圧力温度	1.47MPa(15.0kg/cm ²)、260℃	
	最大蒸発量	50t/h	
特高ケーブル	燃料	軽油	
	種類	CAZVケーブル	
	主変圧器用	単心(1,600mm ²)×2×3本	単心(1,600mm ²)×2×3本
煙突	起動変圧器用	単心(800mm ²)×3本	
	種類	鋼製2筒身集合煙突鉄塔支持形	
構内主要建物	寸法	高さ:200m、直径8m	
	発電所本館	延床面積：約39,200m ² (鉄筋コンクリート5階建)	
	事務本館	延床面積：約8,800m ² (鉄筋コンクリート5階建)	
	集中管理室	延床面積：約2,800m ²	
	運炭管理室	延床面積：約1,100m ²	
送電線	給水処理室	延床面積：約2,400m ²	
	排水処理室	延床面積：約1,100m ²	
石炭灰埋立地	発電所敷地面積	約1,530,000m ² (内埋立面積：約470,000m ²)	
	用地面積	約488,000m ² (埋立面積：約339,000m ²)	
送電線	埋立容量	約5,239,000m ³	
	線	原町火力線(275kV×2回線、18.06km)	南相馬変電所に連繫

項目		1号機	2号機
排煙脱硝装置	型式	乾式アンモニア接触還元法	
	処理ガス量	3,130km ³ /h(湿り)	
	出口NOx濃度	60ppm以下	
集じん装置	脱硝率	80%以上	
	型式	乾式電気式	
	処理ガス量	3,480km ³ /h(湿り)	
排煙脱硫装置	出口ばいじん濃度	0.15g/m ³ N	
	集じん率	99.3%	
	型式	湿式石灰石こう法	
給水処理装置	処理ガス量	3,610km ³ /h(湿り)	
	出口SOx濃度	69ppm以下(出口ばいじん濃度：25mg/m ³ N)	
	脱硫率	90%以上	
排水処理装置	前処理装置	高流速ろ過器+限外ろ過膜方式 [85t/h×3系列]	
	純水装置	2段逆膜浸透膜(RO)+カートリッジポリシヤー方式 [50t/h×3系列]	
ろ過水タンク	放流系	膜分離方式 [50t/h×3系列] [排水貯槽：2,000m ³ ×4基]	
	回収系	油分離+砂ろ過方式 [30t/h×2系列] (定常排水貯槽：800m ³ ×2基、非定常排水貯槽：3,500m ³ ×1基) (再利用水タンク：3,000m ³ ×1基)	
純水タンク	5,000kl×2基		
脱塩水タンク	5,000kl×2基		
燃料貯蔵設備	貯炭場	1,000kl×2基	
	重油タンク	1,000kl×2基	
	軽油タンク	1,000kl×2基	
揚炭設備	貯炭場	屋外式：186,000m ² [貯炭量：694,000t]	
	スタッカ	鋼製円筒型円錐屋根式 [9,800kl×2基]	
	リクレーマ	鋼製円筒型円錐屋根式 [900kl×2基]	
	受入コンベア	チェンバケット式連続アンローダ形 [1,500t/h×4基]	
	払出コンベア	ブーム旋回起状形 [3,300t/h×3基]	
取放水設備	遮風フェンス	ツインブームスレーバ形 [1,800t/h×2基]	
	取水口	[3,300t/h×2基]	[900t/h×2基]
	取水管路	[高さ15m×長さ756m、高さ5m×長さ2,202m]	
	放水管路	幅 約29m、取水高S・P-4~-7.5m	
	放水口	幅 約29m、取水高S・P-4~-7.5m	幅 約29m、取水高S・P-4~-7.5m
港湾および関連施設	取水口	直径2.8m×2本、長さ(A・B)71.7m・67.7m	直径2.8m×2本、長さ(A・B)87.5m・82.7m
	放水管路	直径2.8m×2本、長さ(A・B)60.9m・49.8m	直径2.8m×2本、長さ(A・B)137.1m・163.4m
	放水口	直径4.7m×長さ572.4m RCTトンネル	直径4.7m×長さ571.5m RCTトンネル
	放水口	直径2.4m、放水高中心S・P -6.1m	直径2.4m、放水高中心S・P -6.1m
	防波護岸・堤	(北側)捨石式傾斜堤:956m ケーソン式混成堤:1,760m (南側)捨石式傾斜堤:937m ケーソン式混成堤:568m	
港口の航路幅	240m		
港内水深	14m		
揚炭棧橋	直抗式600m 60,000DWT×2		
揚油岸壁	5,000DWT×1		
石こう岸壁	3,000DWT×1		

		原町火力(1, 2号)		
設備概要	全体仕様		パンフレット参照	
	発電所配置図		発電所平面参照	
	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	揚炭施設:60,000DWT×2バース 揚油施設他(矢板式岸壁):7,500DWT×1バース他
			護岸	捨石護岸 :天端高さT.P.+4.1m
			防波堤	ケーソン式混成堤・捨石式傾斜堤 :天端高さT.P.+4.6m~T.P.+8.1m
		復水器冷却用水施設	取水口	鉄筋コンクリート造 取水量:88.6m ³ /s
	取水路		地下埋設鋼管 (内径2.8m×4条)	
	放水路		地下埋設鋼管(内径2.8m×4条) 鉄筋コンクリート造トンネル(内径4.7m)	
	放水口		ケーソン式放流管方式	
	燃料設備	タンク	重油タンク:2基:9800kl, 軽油タンク:2基:900kl	
地盤情報	敷地レベル		T.P.+4.1m	
	地下水レベル			
	地盤構成		上位より砂層・シルト岩等	
	地盤改良		動圧密工法	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・荷役岸壁のはらみ出し(30cm~100cm) ・取放水管の沈下(5cm~17cm) ・主要変圧器基礎の沈下・クラック ・ろ過水タンク基礎の沈下(11cm) ・重油タンク防油堤破損	
		液状化の有無	液状化が発生したものと想定(地盤状況より判断)	
	津波による被害	土木構造物被害	・越波防潮堤の損壊 ・主要変圧器防火壁倒壊 ・除塵機損壊 ・放水口連絡橋損壊	
復旧状況	復旧の考え方		原型復旧を基本とし、一部設備スリム化を検討。 また、油タンク等は高台へ移設	
	復旧設備, 復旧方法, 時		・被災設備を中心に原型復旧。 ・1号機:運転再開未定 2号機:H25.3末運転再開(予定)	
	発電所の稼動状況		1, 2号機とも試運転中	
今後の展開			復旧工事・リプレース工事において、防潮堤の設置等の津波対策を実施する予定であり、発電所計画にあたっては、津波対策に対して十分検討する必要がある。	

TP=SP-0.86m

震災状況



巨大津波襲来状況



※発電所本館側から撮影



写真-1 1号機側 防火壁倒壊状況



復旧状況



写真-2 除塵機被災状況



除塵機復旧状況

東北原町-5



写真-3 荷役岸壁被災状況



復旧状況



写真-4 放水口連絡橋被災状況



復旧状況



写真-5 サービスビル被災状況



復旧状況



写真-6 取水口ポンプ室被災状況



写真-7 重油タンク被災状況



軽油タンク被災状況



軽油タンク高台へ移動 復旧状況

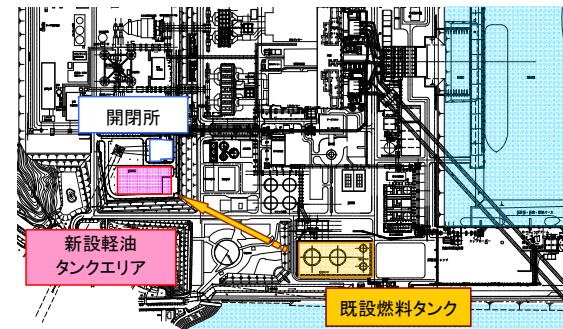


写真-8 構内法面被災状況



復旧状況



写真-9 タグボート岸壁被災状況



復旧状況

東電広野-1

東京電力 広野火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

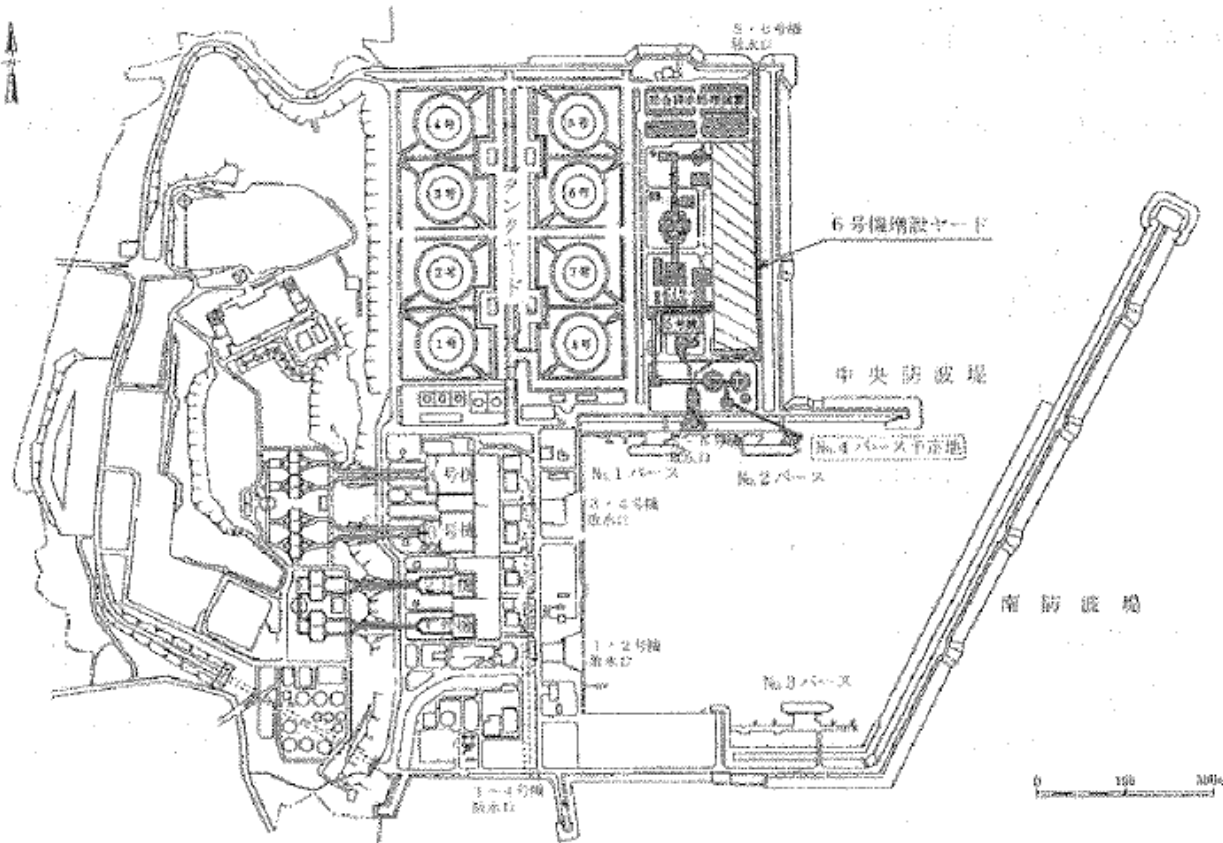
広野火力発電所

■設備概要

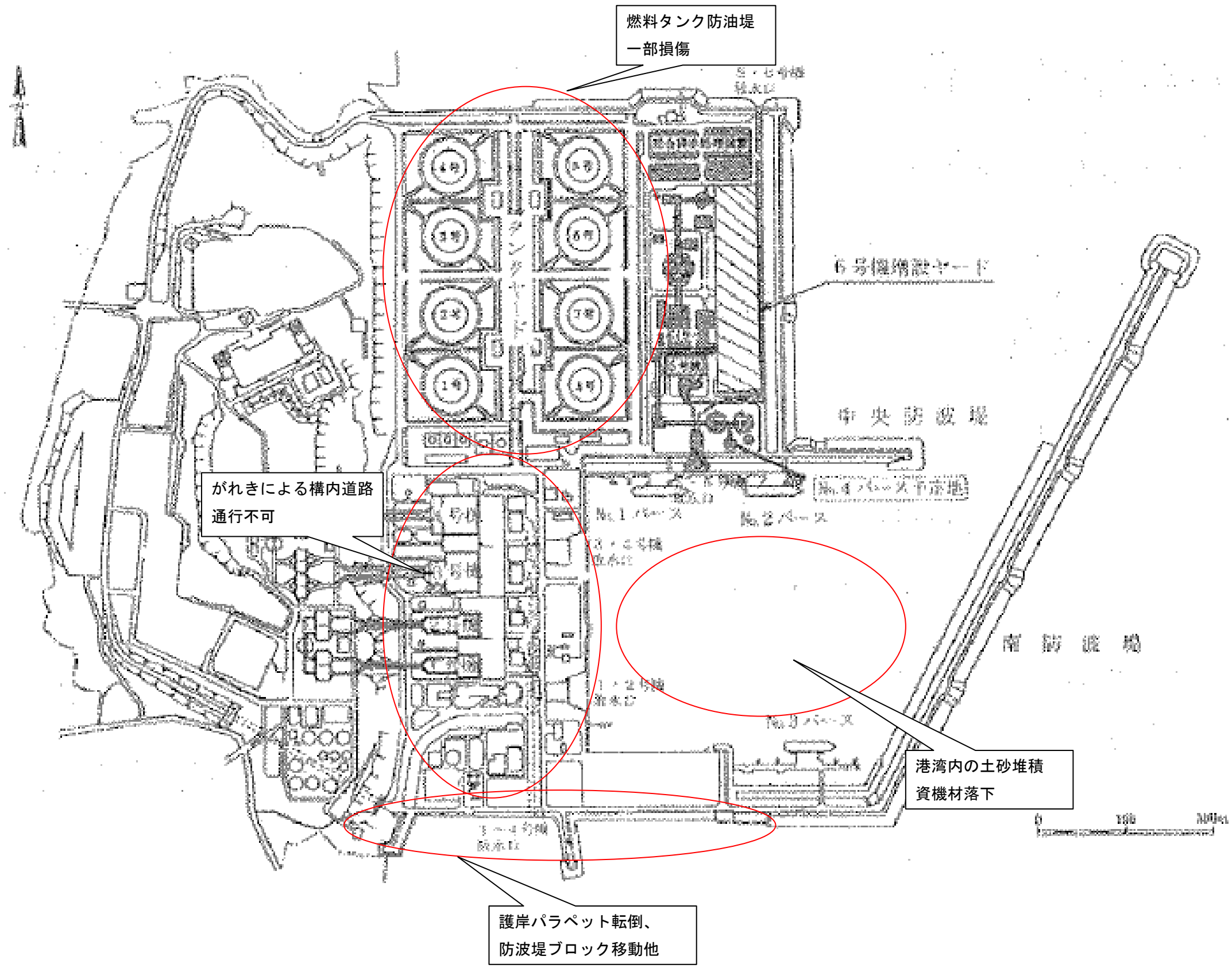
・全体仕様

1号機	60万kW (重油・原油)	1980年4月運開
2号機	60万kW (重油・原油)	1980年7月運開
3号機	100万kW (重油・原油)	1989年6月運開
4号機	100万kW (重油・原油)	1993年1月運開
5号機	60万kW (石炭)	2004年7月運開

・発電所配置図



事業者名		東京電力		
発電所名		広野火力(1~5号)		
所在地		福島県双葉郡広野町大字下北迫字二ツ沼58		
設備概要	主要土木設備仕様	港湾設備	着岸設備	重軽油バース: 5,000DWT 揚炭灰払出バース: 12,500DWT 重油バース: 5,000~10000DWT 物揚場
			護岸	形式: 傾斜堤, 矢板式 天端高さ: HP+5.0m~8.5m
			防波堤	形式: 傾斜型 天端高さ: HP+5.5mm
	復水器冷却用水施設	取水口	形式: カーテンウォール式 取水量: 26.5m ³ /s(1u,2u,5u)、43.0m ³ /s(3u,4u)	
		取水路	地下埋設鋼管(内径2.2~3.0m)	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
	燃料設備	タンク他	放水口	1~4号機: 鉄筋コンクリート造暗渠 5号機: 消波ブロック被覆式開渠(5u)
			原油・重油タンク: 50,000KL × 8 石炭サイロ(建築設備): 3000t × 2	
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		HP+5.0m(TP+4.24m)	
	朔望平均満潮位[港名]		CDL+1.5m(TP+0.61m)[小名浜港]	
	地下水レベル		GL-2.0m	
	地盤構成		上位より埋土層, 沖積砂層, 砂質泥岩	
地盤改良		なし		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度: 391gal 計器設置場所: タービン架台 (地表面の計測器は津波で流出)	
	津波記録(浸水深・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水深: 最大4m程度	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・道路段差 ・物揚場護岸はらみだし(20~70cm) 他	
		液状化の有無	構内のごく一部で発生 (津波襲来と重なり詳細把握困難)	
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生	
	津波による被害	土木構造物被害	・瓦礫による構内道路通行不可 ・港湾内の土砂堆積, 資機材・車両の落下 ・護岸パラペット転倒, 防波堤消波ブロック移動・透過防止矢板損傷	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし	
		環境被害(油漏洩など)	なし	
復旧状況	復旧の考え方		発電設備については応急復旧後, 原形復旧	
	復旧設備, 復旧方法, 時期		・H23年6月末までに構内道路, 油タンク防油堤ほかの 仮復旧および港湾内の堆砂・落下物撤去完了 ・本復旧実施中 (H24年8月現在)	
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		1u: H23.7.3, 2u: H23.7.11, 3u: H23.7.16, 4u: H23.7.14, 5u: H23.6.15発電再開 全号機復旧完了	
今後の展開		・想定津波高さの見直し必要性 ・避難訓練が奏功 等		



被害状況図（広野火力）



3・4号煙道下道路(北→南)



トンネル東側出口付近(東→西)



事務本館前道路(西→東)



南護岸通り(西→東)



5号煙突(東→西)



台上より南護岸を望む(西→東)



南護岸パラペット損壊状況(8スパン転倒)

東京電力 常陸那珂火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

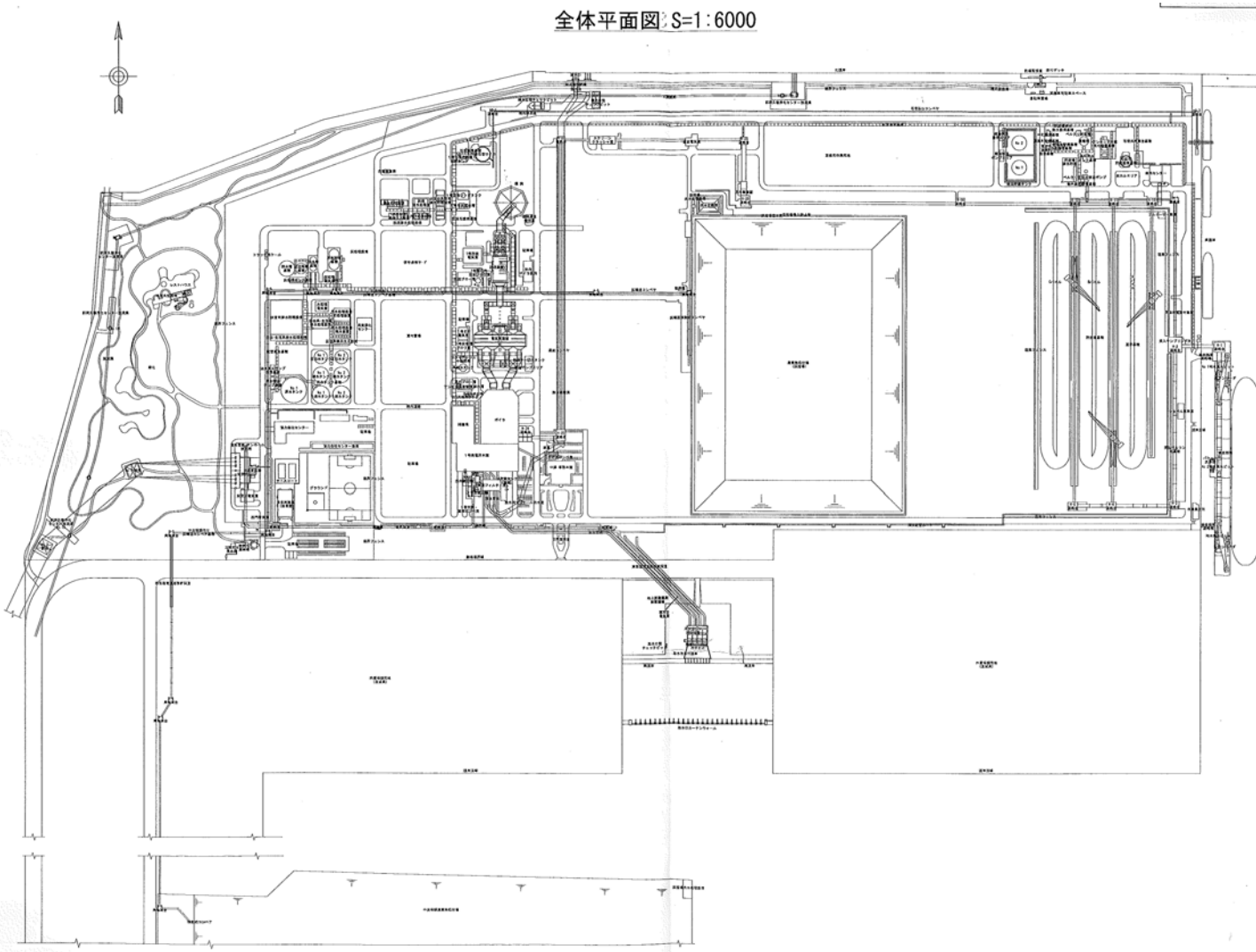
常陸那珂火力発電所

■設備概要

・全体仕様

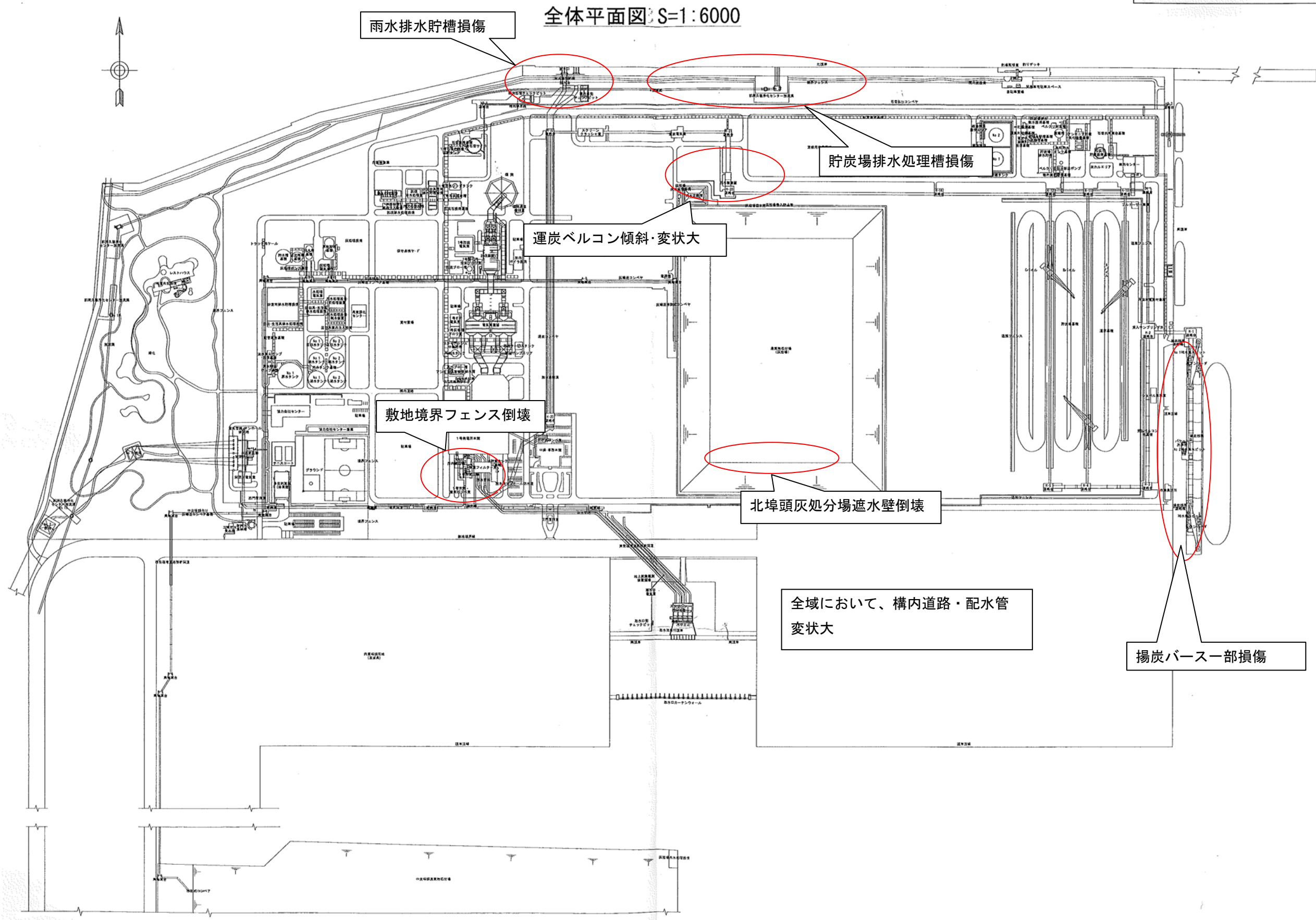
1号機 100万kW(石炭) 平成15年12月運開

・発電所配置図

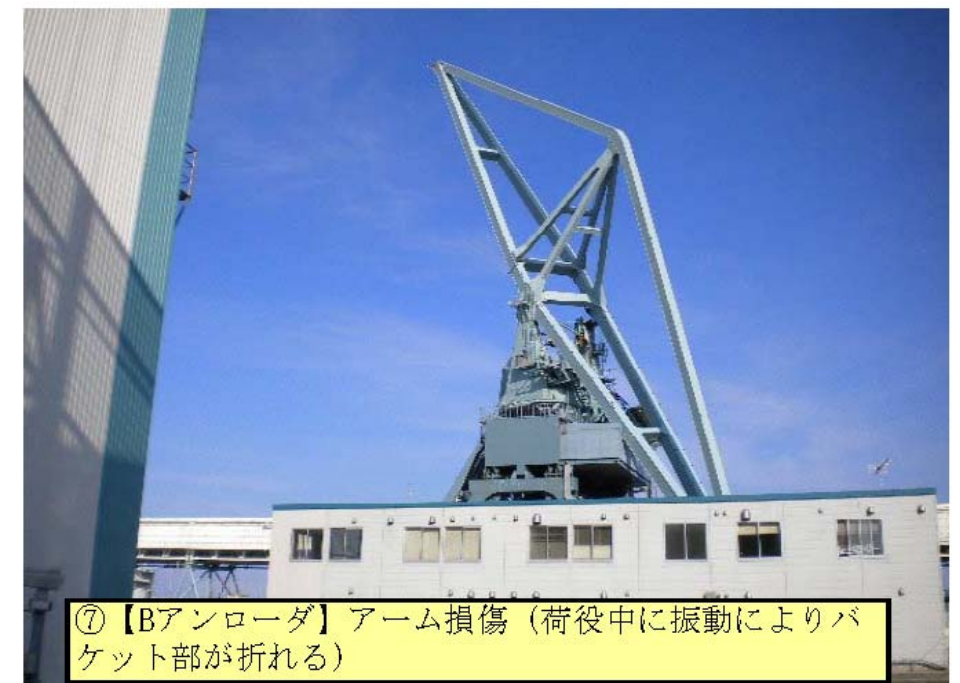


(火力発電所土木設備概要図(東京電力建設部作成)より引用)

事業者名		東京電力		
発電所名		常陸那珂火力(1号)		
所在地		茨城県那珂郡東海村照沼768-23		
設備概要	主要土木設備仕様	着岸設備	揚炭棧橋(石炭):130,000DWT 重軽油パース(重油・軽油):5,000DWT 石灰石・石膏用パース:2,000DWT	
			護岸	形式:傾斜堤、ケーソン式混成堤 天端高さ:HP+4.0m~7.0m
			防波堤	—
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:45.0m ³ /s	
		取水路	地下埋設鋼管(内径2.8m)	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
		放水口	矢板式開渠	
	燃料設備	タンク他	軽油タンク:3,500KL×2	
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		DL+4.0m(TP+3.11m)	
	朔望平均満潮位[港名]		CDL+1.493m(TP+0.603m)[常陸那珂港]	
	地下水レベル		GL-2.4m	
	地盤構成		上位より埋土層、沖積砂層・沖積シルト層の互層、砂質泥岩	
地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備下部)		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:321.0cm/s ² 、最大速度:52.5cm/s 計器設置場所:地表面	
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水深:最大1.5m程度	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・運炭コンベア基礎不陸・蛇行 ・貯炭場排水処理基礎損傷 ・灰捨場遮水壁倒壊・変状 ・雨水排水貯槽・排水管損傷 ・道路段差 他	
		液状化の有無	構内各所で液状化発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず	
		地盤沈下状況	構内各所で地盤沈下発生	
	津波による被害	土木構造物被害	殆どなし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	・接岸荷降中の石炭船の離棧および衝突により揚炭機(アンローダー)が損傷	
		環境被害(油漏洩など)	なし	
復旧状況	復旧の考え方		発電設備については応急復旧後、原形復旧	
	復旧設備、復旧方法、時期		・構内石炭灰処分場、運炭ベルコン基礎の復旧完了 ・道路・雨水排水管の復旧実施中(H24年8月現在)	
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		H23.5.15 発電再開 全号機復旧完了	
今後の展開		・想定津波高さの見直し必要性 ・避難訓練が奏功 等		



被害状況図（常陸那珂火力）



東電鹿島-1

東京電力 鹿島火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

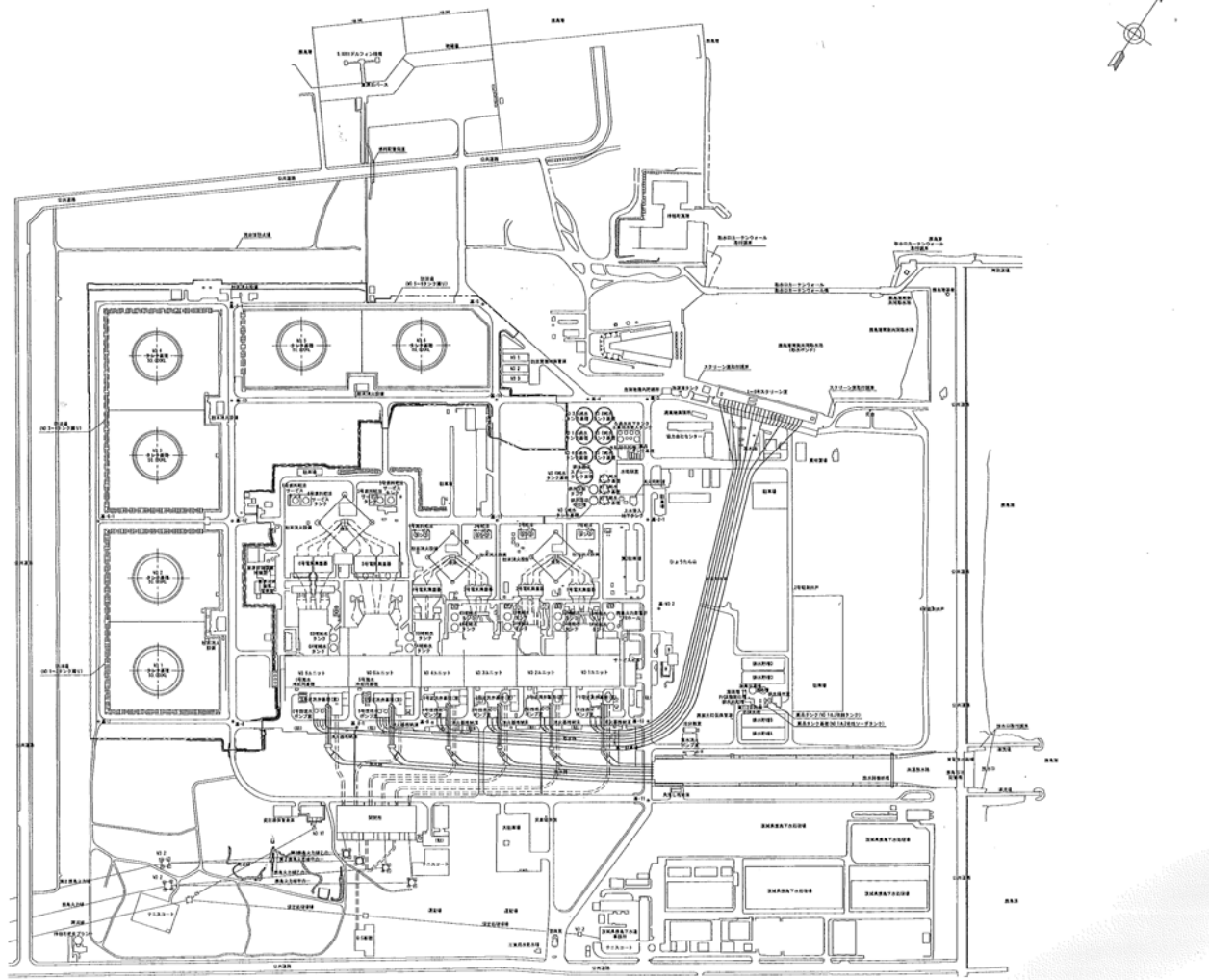
鹿島火力発電所

■設備概要

・全体仕様

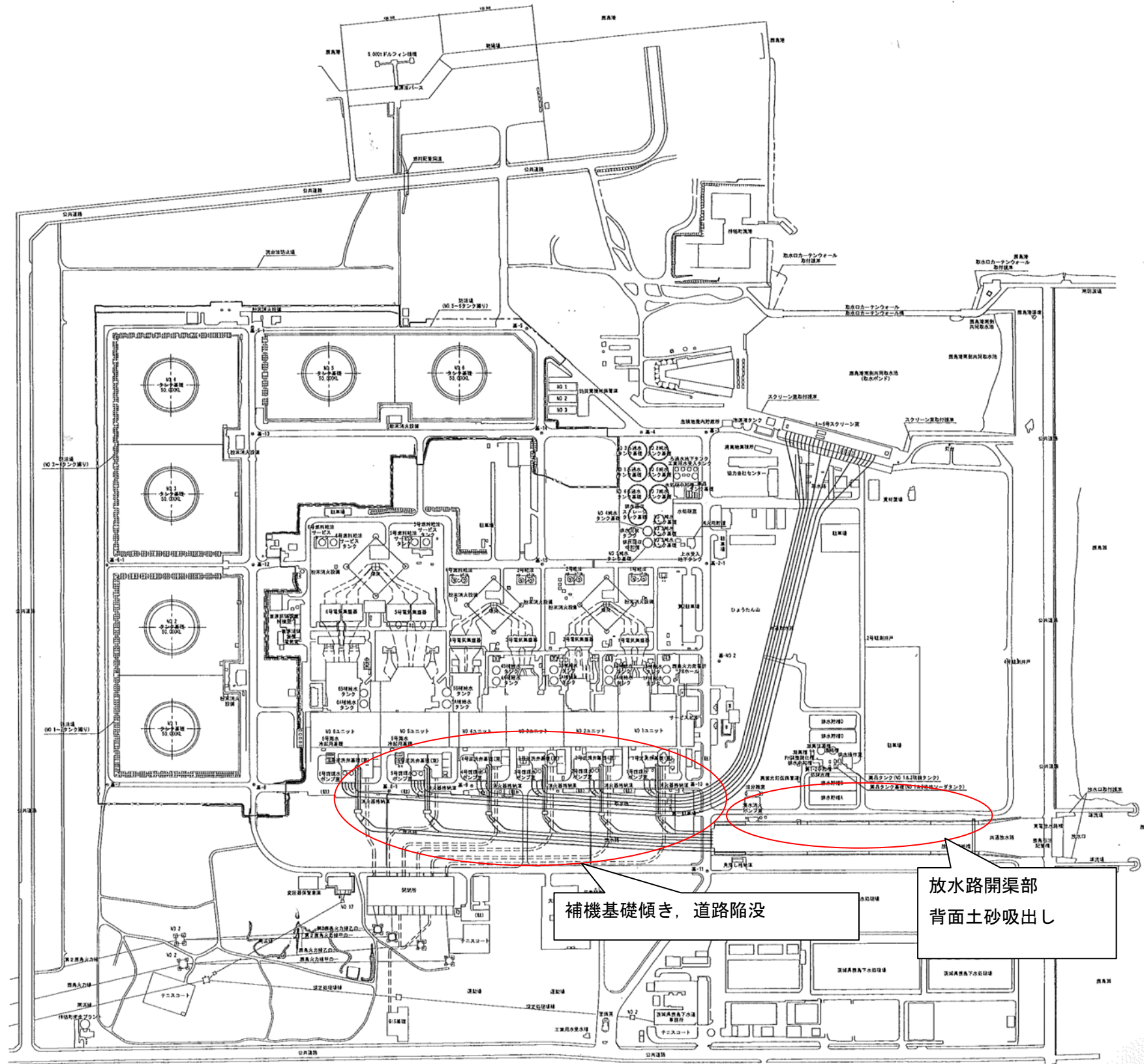
1号機	60万kW (重油・原油)	昭和46年3月運開
2号機	60万kW (重油・原油)	昭和46年9月運開
3号機	60万kW (重油・原油)	昭和47年2月運開
4号機	60万kW (重油・原油)	昭和47年4月運開
5号機	100万kW (重油・原油)	昭和49年9月運開
6号機	100万kW (重油・原油)	昭和50年6月運開

・発電所配置図



(火力発電所土木設備概要図 (東京電力建設部作成) より引用)

事業者名		東京電力		
発電所名		鹿島火力(1~6号)		
所在地		茨城県神栖市東和田9		
設備概要	主要土木設備仕様	港湾設備	着棧設備	重原油バース:5,000DWT 物揚場
			護岸	形式:矢板式 天端高さ:YP+3.5~5.0m
			防波堤	-
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:19.56m ³ /s(1u,3u)、19.33m ³ /s(2u,4u) 32.33m ³ /s(5u,6u)	
		取水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
	燃料設備	放水口	コンクリートブロック張開渠	
タンク他		原油・重油タンク:50,000KL×6		
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		YP+3.5~5.5m(TP+2.59~4.59m)	
	朔望平均満潮位[港名]		CDL+1.486m(TP+0.576m)[鹿島港]	
	地下水レベル		GL-2.0m	
	地盤構成		上位より盛土層, 沖積砂層・沖積礫層の互層, 洪積層	
地盤改良		良質土置換(タンク基礎部)		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:430.1cm/s ² 、最大速度:48.0cm/s 計器設置場所:地表面	
	津波記録(浸水深・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水深:最大1m程度	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	・補機基礎傾き(海水クーラー基礎) ・道路段差 他	
		液状化の有無	構内一部で液状化発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず	
		地盤沈下状況	構内一部で地盤沈下発生	
	津波による被害	土木構造物被害	・放水路開渠部背面土砂吸出し	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの) 環境被害(油漏洩など)	特記事項なし なし	
復旧状況	復旧の考え方		発電設備については応急復旧後、原形復旧	
	復旧設備、復旧方法、時期		・放水路開渠部復旧完了 ・補機基礎(海水クーラー基礎)傾き復旧完了 ・道路陥没復旧完了	
	発電所の稼動状況(H24.2月時点)		1u:H23.5.16、2u:H23.4.7、3u:H23.4.6、4u:H23.4.1、5u: H23.4.8、6u:H23.4.20 運転再開 全号機復旧完了	
今後の展開		・想定津波高さの見直し必要性 ・避難訓練が奏功 等		



被害状況図（鹿島火力）



東電千葉-1

東京電力 千葉火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

千葉火力発電所

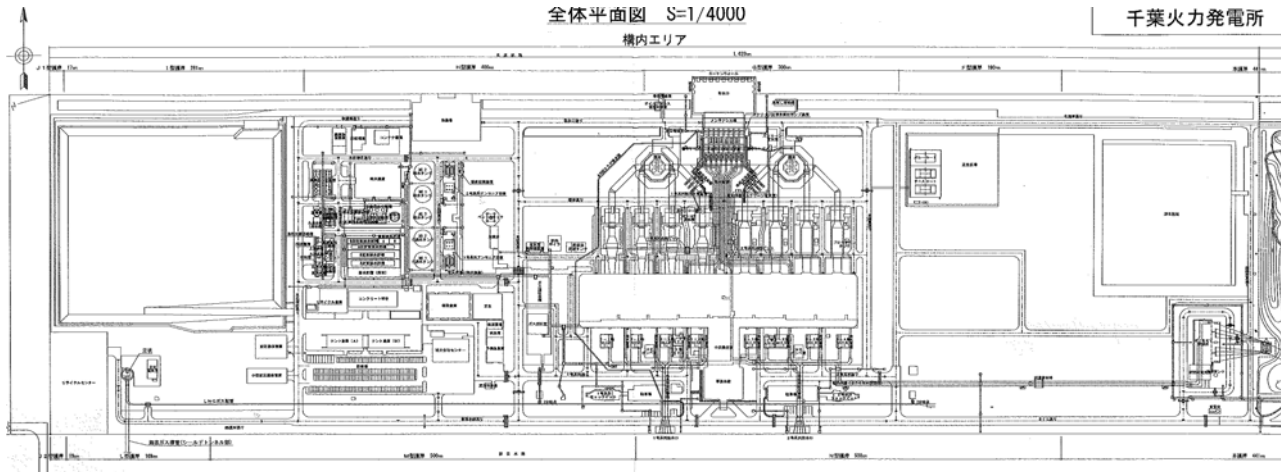
■設備概要

・全体仕様

1号系列1～4軸 36万kW×4 (LNG) 平成12年4月運開

2号系列1～4軸 36万kW×4 (LNG) 平成12年6月運開

・発電所配置図



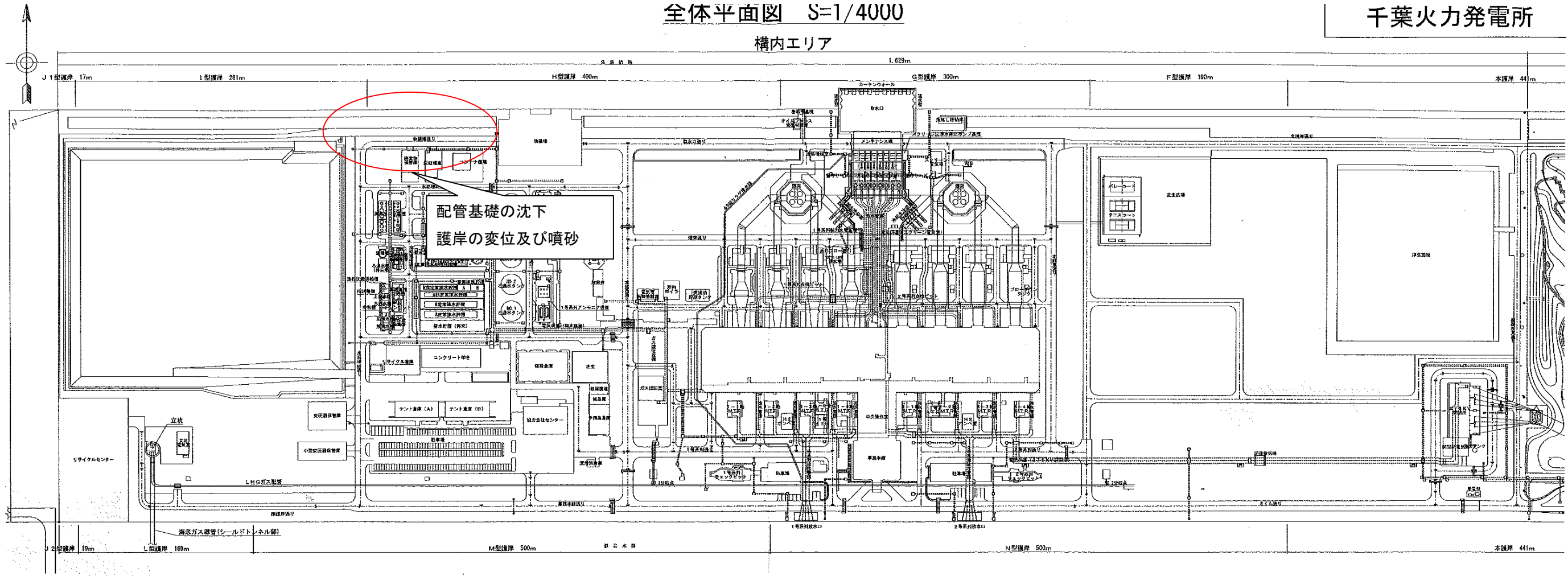
(火力発電所土木設備概要図 (東京電力建設部作成) より引用)

事業者名		東京電力		
発電所名		千葉火力(1, 2号)		
所在地		千葉県千葉市中央区蘇我町2丁目1377		
設備概要	港湾設備	着岸設備	物揚場	
		護岸	形式:矢板式, 重力式 天端高さ:AP+5.0m	
		防波堤	—	
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:36.0m ³ /s(1u)、36.0m ³ /s(2u)	
		取水路	地下埋設鋼管(内径1.7m)	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
		放水口	鉄筋コンクリート造暗渠	
	燃料設備	タンク他	—	
	地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		AP+5.0m(TP+3.87m)
		朔望平均満潮位[港名]		(TP+0.966m)[千葉港]
地下水レベル		GL-1.0m		
地盤構成		上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層の互層, 洪積層		
地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:126.2cm/s ² 、最大速度:29.8cm/s 計器設置場所:地表面	
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水なし	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	一部の護岸ではらみだし(最大7cm) ごく一部の配管基礎・道路沈下	
		液状化の有無	構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず	
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生	
	津波による被害	土木構造物被害	なし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし	
		環境被害(油漏洩など)	なし	
復旧状況	復旧の考え方		設備被害なし	
	復旧設備, 復旧方法, 時期		設備被害なし	
	発電所の稼動状況(H24.2月時点)		震災当日より運転	
今後の展開				

全体平面図 S=1/4000

構内エリア

千葉火力発電所



被害状況図 (千葉火力)

東電川崎-1

東京電力 川崎火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

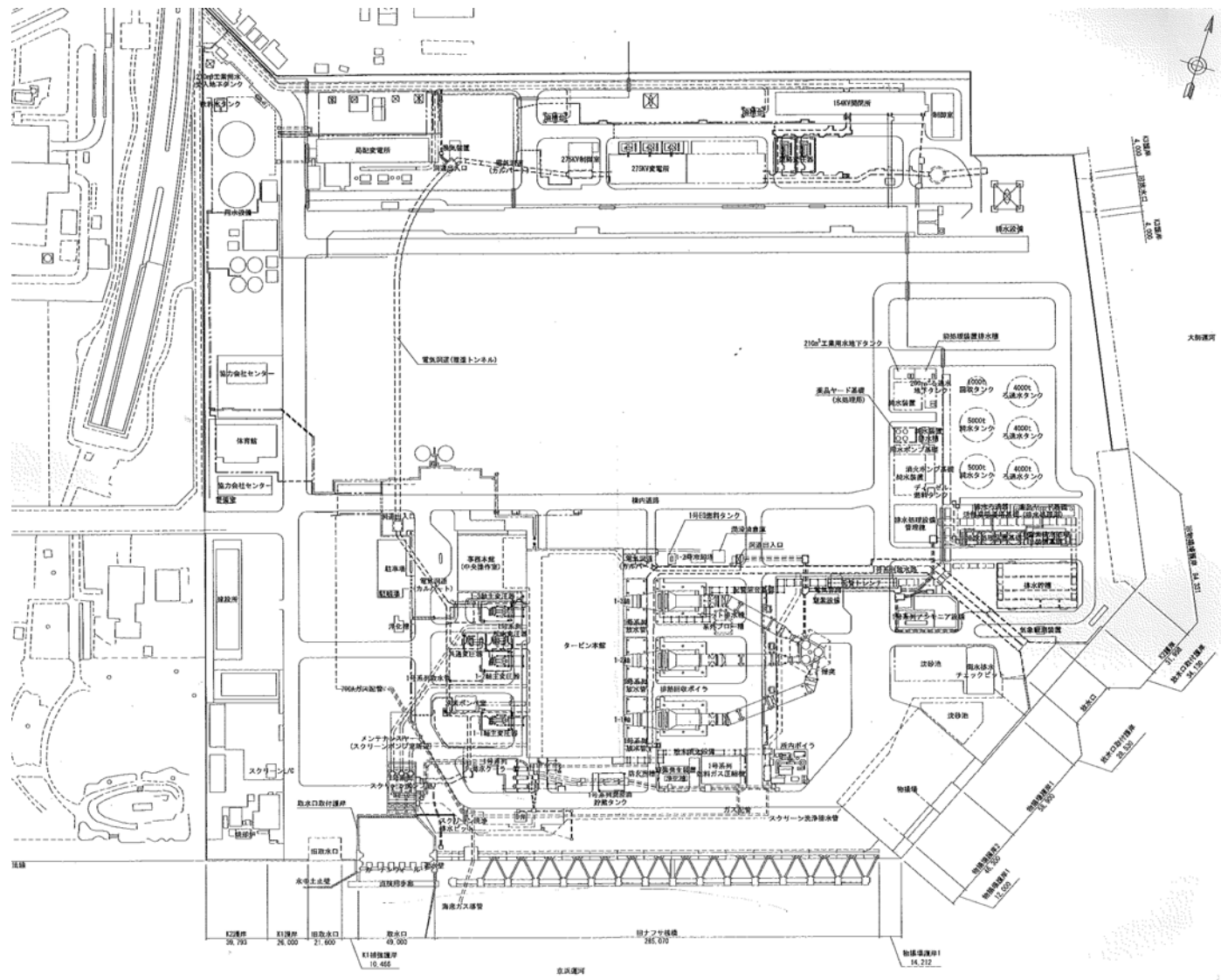
川崎火力発電所

■設備概要

・全体仕様

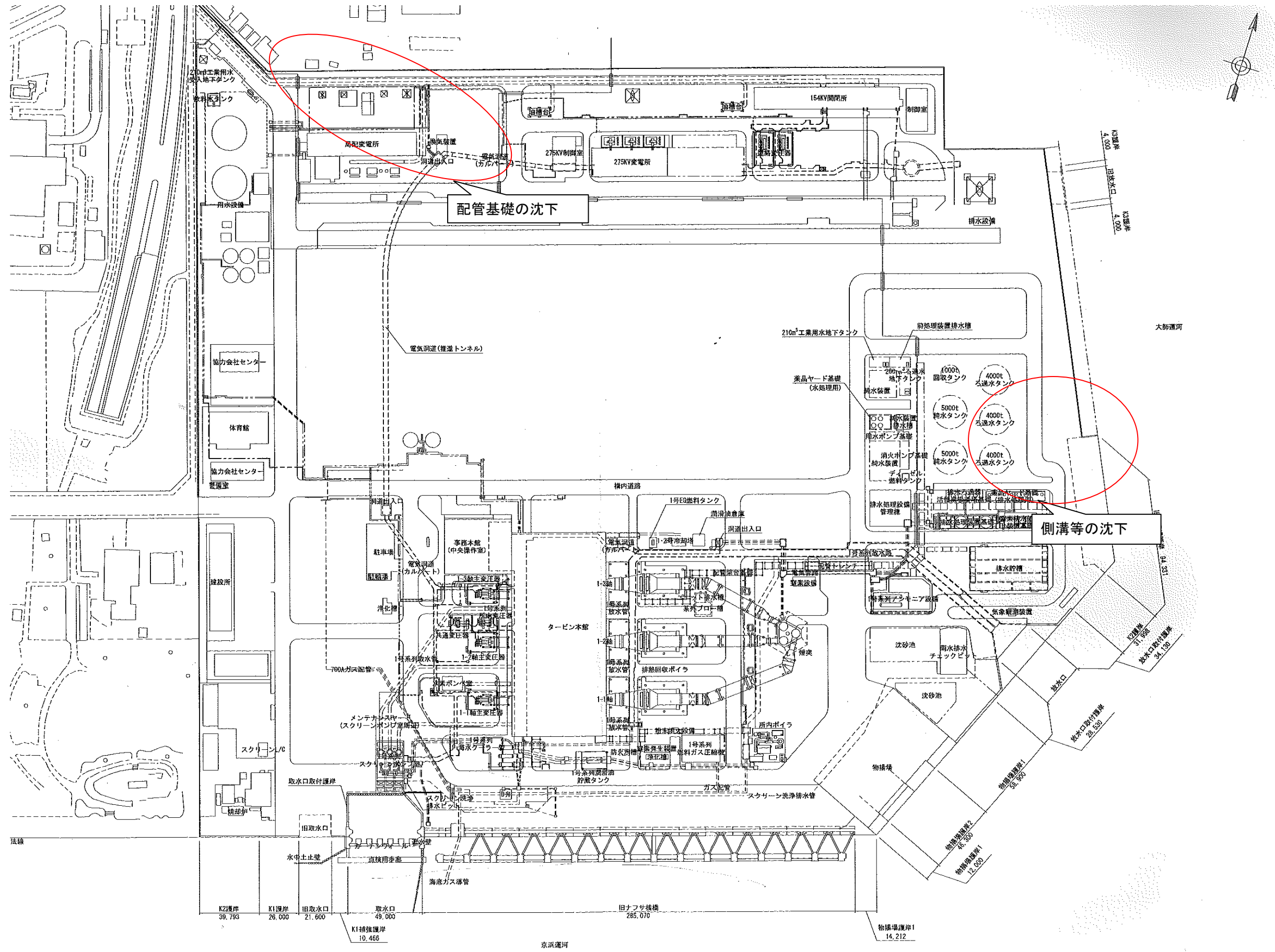
- 1号系列1-1軸 50万kW (LNG) 平成21年7月運開
- 1号系列1-2軸 50万kW (LNG) 平成20年7月運開
- 1号系列1-3軸 50万kW (LNG) 平成19年6月運開

・発電所配置図



(火力発電所土木設備概要図(東京電力建設部作成)より引用)

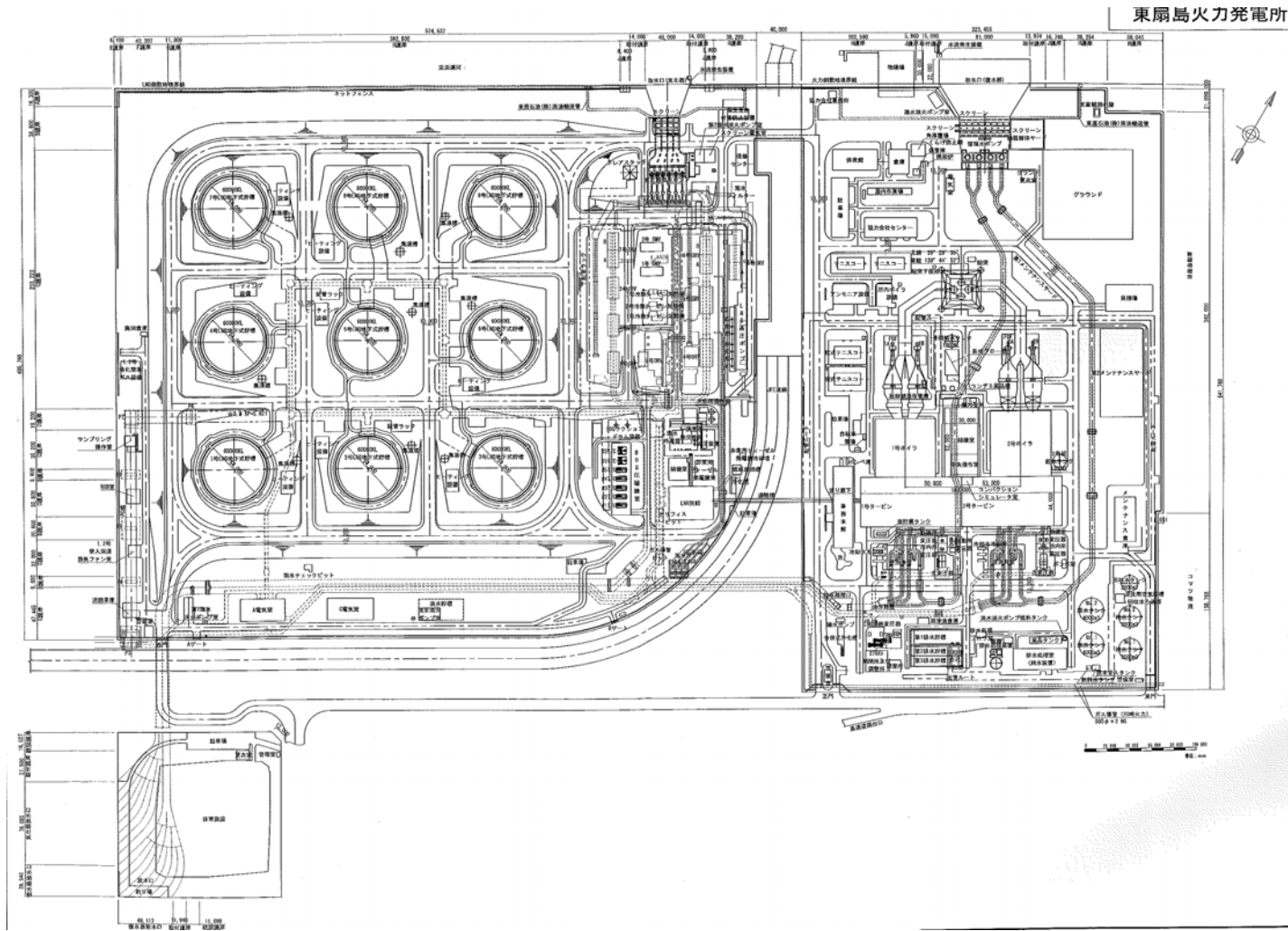
	事業者名	東京電力		
	発電所名	川崎火力(1号)		
	所在地	神奈川県川崎市川崎区千鳥町5-1		
設備概要	主要土木設備仕様	港湾設備	着岸設備	物揚場
			護岸	形式:矢板式,擁壁式 天端高さ:KP+4.0~4.5m
			防波堤	-
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:36.0m ³ /s	
		取水路	地下埋設鋼管(内径1.85m)	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
		放水口	鉄筋コンクリート造開渠	
燃料設備	タンク他	-		
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		KP+4.0~4.5m(TP+2.91~3.41m)	
	朔望平均満潮位[港名]		(TP+0.903m)[川崎港]	
	地下水レベル		GL-2.4m	
	地盤構成		上位より埋土層,沖積砂層・沖積シルト層の互層,洪積層	
	地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)	
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:108.3cm/s ² 、最大速度:32.5cm/s 計器設置場所:地表面	
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水なし	
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	ごく一部の配管基礎・側溝等の沈下	
		液状化の有無	確認できず	
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生	
	津波による被害	土木構造物被害	なし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし	
		環境被害(油漏洩など)	なし	
復旧状況	復旧の考え方		設備被害なし	
	復旧設備,復旧方法,時期		設備被害なし	
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		震災当日より運転	
今後の展開				



被害状況図 (川崎火力)

東京電力 東扇島火力発電所

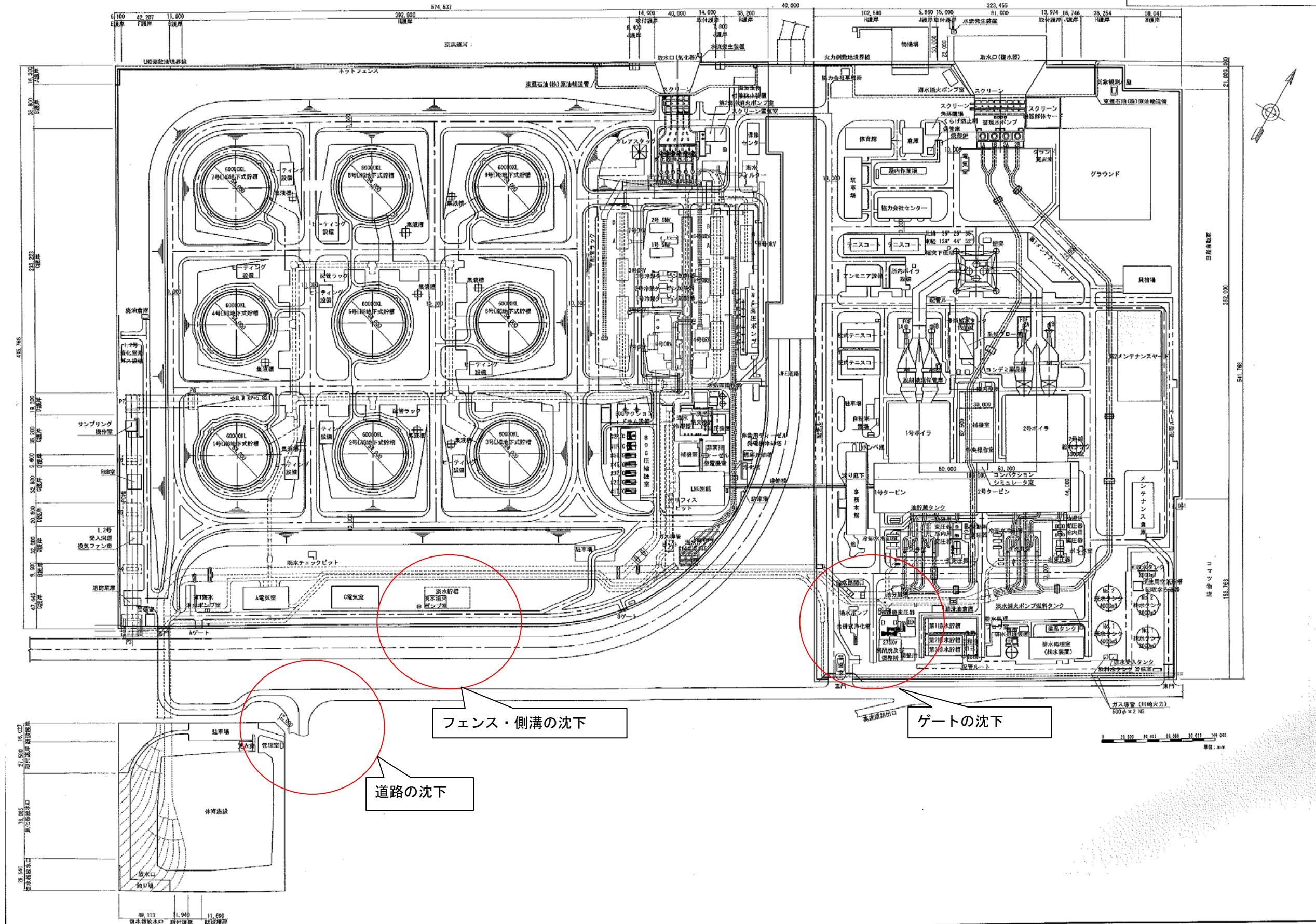
- 事業者名
東京電力株式会社
- 発電所名
東扇島火力発電所
- 設備概要
 - ・全体仕様
 - 1号機 100万kW (LNG) 昭和62年9月運開
 - 2号機 100万kW (LNG) 平成 3年3月運開
 - ・発電所配置図



(火力発電所土木設備概要図 (東京電力建設部作成) より引用)

事業者名		東京電力	
発電所名		東扇島火力(1, 2号)	
所在地		神奈川県川崎市川崎区東扇島3	
設備概要	主要土木設備仕様	着岸設備	LNGバース:130,000m ³ 級 重油バース:3,500DWT 物揚場
		護岸	形式:重力式, 矢板式 天端高さ:KP+4.0m
		防波堤	—
	復水器冷却用水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:44.0m ³ /s(1u,2u)
		取水路	地下埋設鋼管(内径4.0m)
		放水口	鉄筋コンクリート造暗渠
	燃料設備	タンク他	鉄筋コンクリート造暗渠
タンク他		地下式LNGタンク:60,000KL×9	
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)		KP+3.8~5.0m(TP2.71m~3.91m)
	朔望平均満潮位[港名]		(TP+0.903m)[川崎港]
	地下水レベル		GL-3.0~-4.0m
	地盤構成		上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層の互層, 洪積層
地盤改良		セメント安定処理・サンドコンパクションパイル等(主要設備)	
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)		最大加速度:142.3cm/s ² 、最大速度:46.9cm/s 計器設置場所:地表面
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)		浸水なし
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	ごく一部の道路・フェンス・側溝・ゲート等の沈下
		液状化の有無	構内のごく一部で発生 但し、地盤改良箇所での液状化は確認されず
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生
	津波による被害	土木構造物被害	なし
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし
		環境被害(油漏洩など)	なし
復旧状況	復旧の考え方		原形復旧
	復旧設備, 復旧方法, 時期		道路・フェンス・側溝・ゲート等の復旧完了
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)		1u:H23.3.24 運転再開 全号機復旧完了
今後の展開			

東扇島火力発電所



被害状況図 (東扇島火力)

東京電力 南横浜火力発電所

■事業者名

東京電力株式会社

■発電所名

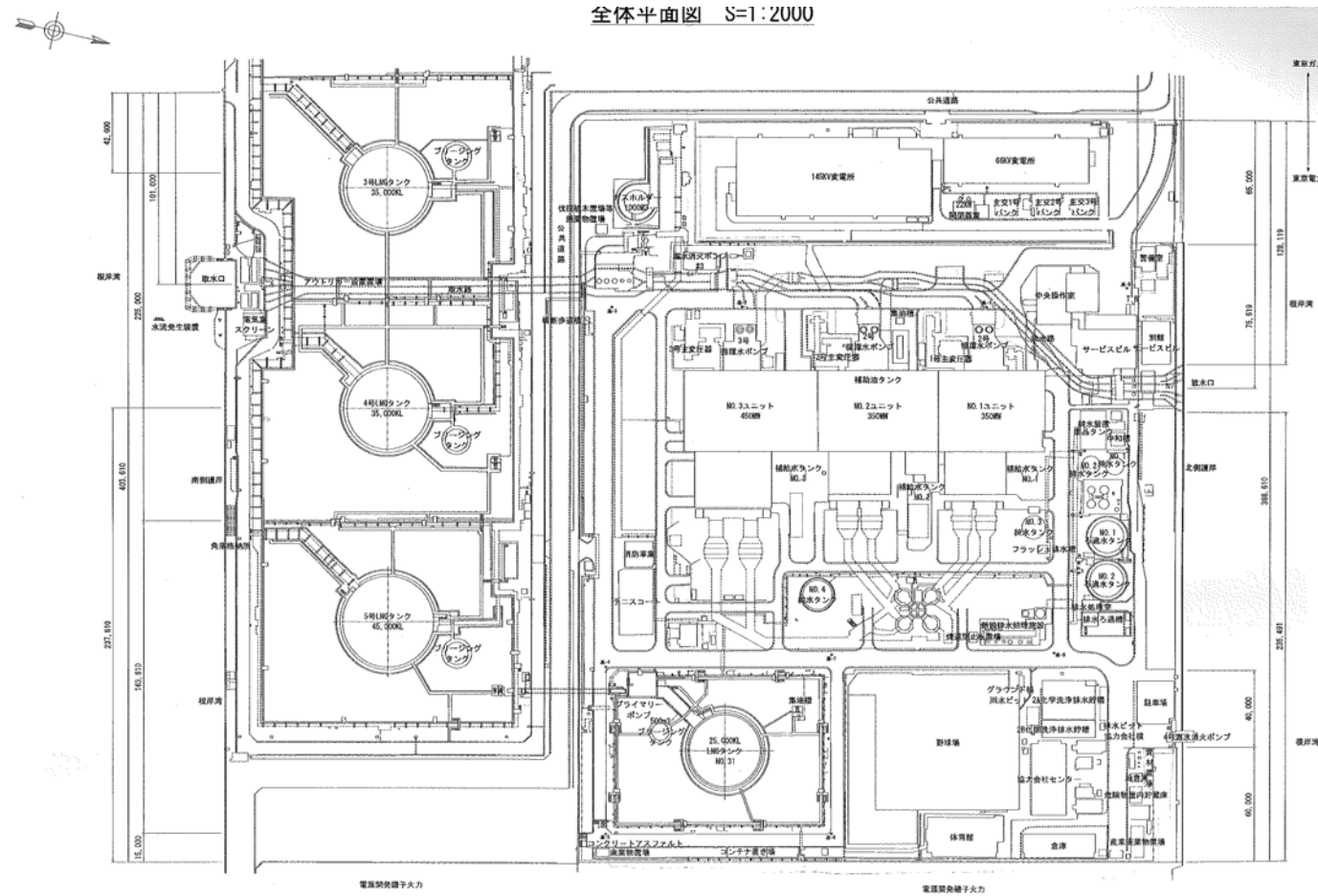
南横浜火力発電所

■設備概要

・全体仕様

- 1号機 35万kW (LNG) 昭和45年5月運開
- 2号機 35万kW (LNG) 昭和45年4月運開
- 3号機 45万kW (LNG) 昭和48年5月運開

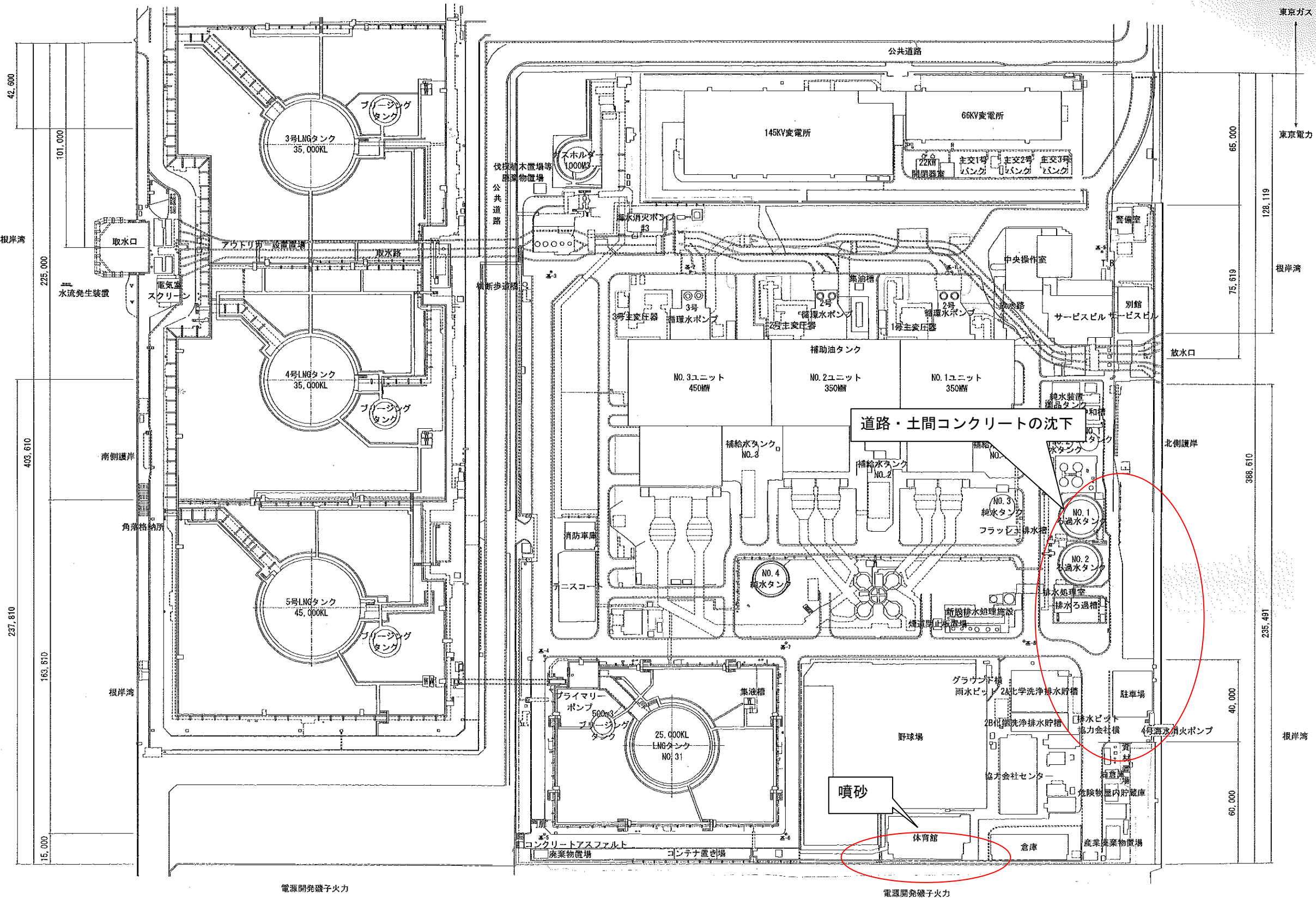
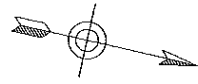
・発電所配置図



(火力発電所土木設備概要図(東京電力建設部作成)より引用)

	事業者名	東京電力		
	発電所名	南横浜火力(1~3号)		
	所在地	神奈川県横浜市磯子区新磯子町37-1		
設備概要	主要土木設備仕様	港湾設備	着岸設備	-
			護岸	形式:混成式(ケーソン式, L型ブロック式), 矢板式 天端高さ:AP+3.6~6.5m
			防波堤	-
	復水器冷却水施設	取水口	形式:カーテンウォール式 取水量:12.0m ³ /s(1u)、12.17m ³ /s(2u)、15.5m ³ /s(3u)	
		取水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
		放水路	鉄筋コンクリート造暗渠	
放水口		鉄筋コンクリート造暗渠		
燃料設備	タンク他	地上式LNGタンク: 25,000KL × 1, 35,000KL × 2, 45,000KL × 1		
地盤情報	敷地レベル(レベル設定根拠)	AP+3.6~4.3m(TP+2.47~3.17m)		
	朔望平均満潮位[港名]	(TP+0.903m)[横浜港]		
	地下水レベル	GL-1.3m		
	地盤構成	上位より埋土層, 沖積砂層・沖積シルト層・沖積粘土層の互層, 土丹層		
	地盤改良	なし		
観測記録	地震記録(最大加速度・最大速度、計器設置場所)	最大加速度:81.3cm/s ² 、最大速度:22.6cm/s 計器設置場所:地表面		
	津波記録(浸水高・浸水深・遡上高、浸水の概略範囲)	浸水なし		
被害状況	地震による被害	土木構造物被害	ごく一部の道路・土間コンクリート等の沈下	
		液状化の有無	構内のごく一部で発生	
		地盤沈下状況	構内のごく一部で発生	
	津波による被害	土木構造物被害	なし	
		設備被害(土木構造物との関連で特記すべきもの)	特記事項なし	
		環境被害(油漏洩など)	なし	
復旧状況	復旧の考え方	設備被害なし		
	復旧設備, 復旧方法, 時期	設備被害なし		
	発電所の稼働状況(H24.2月時点)	震災当日より運転		
今後の展開				

全体平面図 S=1:2000



被害状況図 (南横浜火力)

相馬新地-1

相馬共同火力 新地火力発電所

■事業者名

相馬共同火力発電株式会社

■発電所名

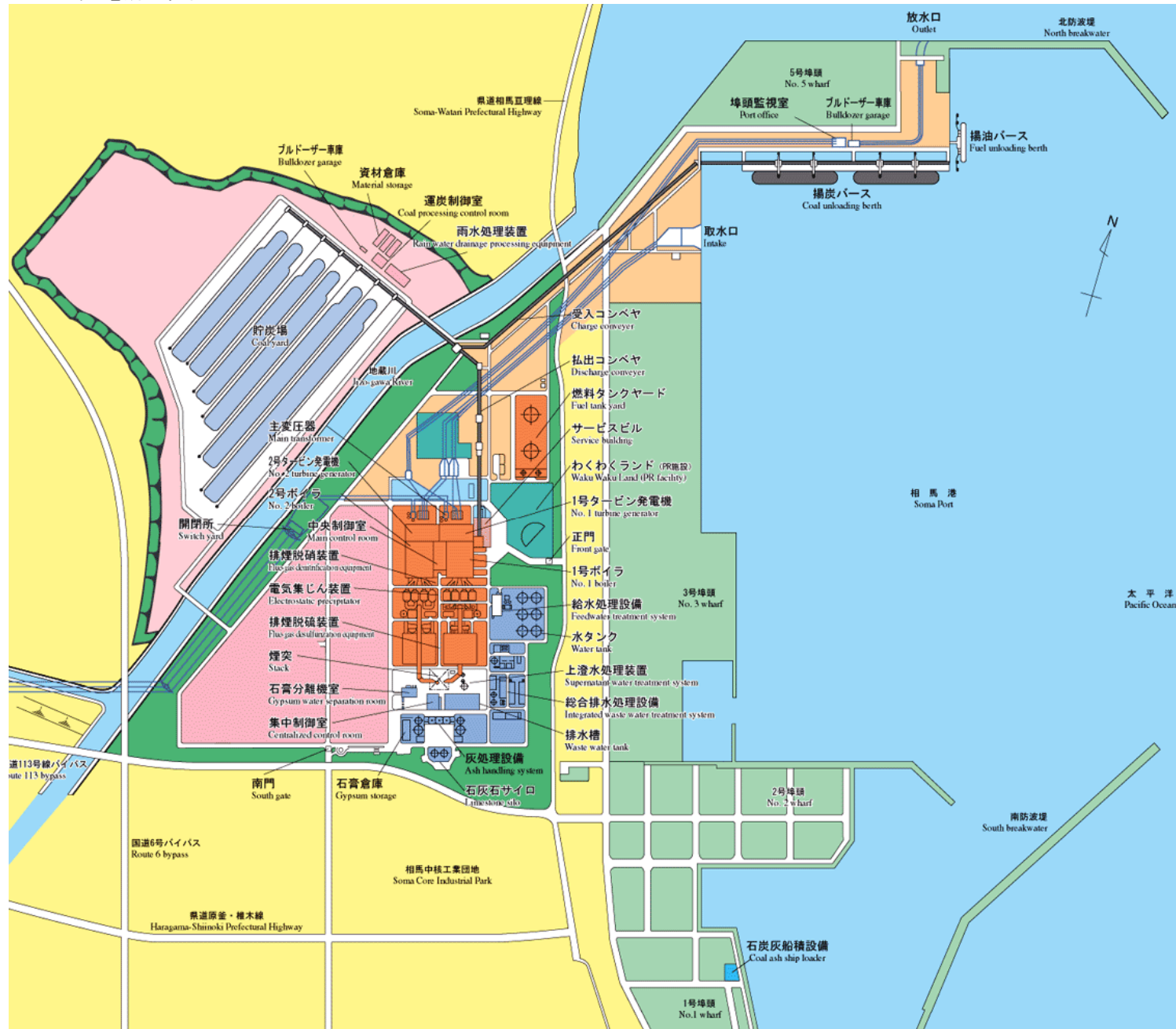
新地発電所

■設備概要

・全体仕様

1号機	100万kW (石炭)	平成6年7月運開
2号機	100万kW (石炭)	平成7年7月運開

・発電所配置図



・主要土木設備仕様

○港湾設備

揚炭バース	直杭式棧橋	60,000DWT×2バース
延長	280m	鋼管杭φ1,000~1,400mm 272本
前面水深	CDL-15.5m	
重油バース	直杭式棧橋とドルフィン式複合棧橋	5,000DWT×1バース
		鋼管杭φ800~1,000mm 39本
護岸	鋼管矢板	φ1,200mm (福島県施工)
天端高	CDL+4.0m	

○復水器冷却水路設備

取水口

形式：カーテンウォール式 鋼管組杭式 直杭φ1,000mm 斜杭φ700mm
 開口部断面積：450.00m²
 取水量：45.0m³/s×2

取水口 (スクリーン室)

基礎：PHC杭 (φ600~700mm)
 スクリーン室：幅5.0m 高さ10.5m×8連

取水路 内径 5.0m×5.0m×2連 延長 732.8m

内径 5.0m×5.0m×1連 延長 172.4m

壁厚 (外) 900mm (中) 600mm

底厚 900mm 床版厚 850mm

マンホール 内径 2.5m×2.5m : 4箇所

放水路 内径 4.4m×4.4m×2連 延長 1,945.9m

壁厚 (外) 700mm (内) 500mm

底版厚 650mm 床版厚 700mm

マンホール 内径 1.5m×1.5m×2連 4箇所

接続槽 直接基礎 幅 34.5m×長さ 31.5m×高さ 15.5m

壁厚 0.75m~1.5m 底版厚 1.5m

合流槽 直接基礎 幅 20.4m×長さ 30.0m×高さ 15.2m

内径 10m×8.8m×高さ 13.6m×2連

底版厚 1.2m 壁厚 0.8~1.2m 床版厚 0.4m

放水口 内径 3.6m×2.5m×53m×2連

2.4m×2.5m×53m×3連

壁厚 (中) 400mm (外) 650mm

底版厚 650mm

床版厚 600mm

相馬新地-2

○燃料設備

重油タンク基礎

地盤改良：載荷盛土（高さ5.0m）

良質土置換（置換厚4.2m）

サンドコンパクションパイル（φ700mm ピッチ1.4m）

構造：直接基礎（砕石リング基礎）

RCリング 鉄筋コンクリート造 直径 42.4m 高さ2.0m 幅0.5m

軽油タンク基礎

地盤改良：良質土置換（置換厚3.0m）

サンドコンパクションパイル（φ700mm ピッチ1.6m）

構造：直接基礎（砕石リング基礎）

RCリング 鉄筋コンクリート造 直径 15.2m 高さ1.5m 幅0.4m

防油堤

構造：鉄筋コンクリート造（逆T型） 直接基礎

壁高2.0m（地上高1.5m）、壁厚0.25m 延長600m

中仕切堤

構造：盛土造 表面コンクリートモルタル張（厚さ10cm）直接基礎

高さ0.3m、天端幅1.0m、法勾配1:1.5、延長182m

流出防止堤

構造：盛土造 表面芝張

高さ0.6m、天端幅2.0m、法勾配 1:2.0 延長 1,161m

屋外貯炭場

パイル部

地盤改良：ペーパードレン（94×2.6mm、ピッチ1.0m）+載荷盛土（高さ2~9m）

深層混合処理（φ1,000mm-4列 幅3.6m ピッチ1.0m）

Aパイル 幅47.0m×長さ740.0m

Bパイル 幅47.0m×長さ695.0m

Cパイル 幅47.0m×長さ610.0m

Dパイル 幅47.0m×長さ540.0m

Eパイル 幅47.0m×長さ460.0m

Fパイル 幅47.0m×長さ460.0m

道床部

地盤改良：サンドコンパクションパイル（φ700mm、ピッチ1.75m）+

載荷盛土（高高さ2~4m）

構造：一般走行部 鉄筋コンクリート造（砕石強化路盤）直接基礎

休止部 鉄筋コンクリート造（砕石強化路盤）直接基礎

○その他

橋梁 上部工 1等橋（T-20、TT-43）

橋長 76.95m（唐崎橋） 72.44m（今神橋）

支間 2径間×37.2m（唐崎橋） 2径間×35.11m（今神橋）

有効幅員 道路橋 10.0m（唐崎橋） 車道8.0m、歩道0.7m（今神橋）

型式 ポストテンション方式PC単純T桁橋

下部工

橋台 構造：ラーメン式 RC構造

場所打ちコンクリート杭基礎

深層混合処理

橋脚 構造：逆T式、RC構造

場所打ちコンクリート杭基礎

■地盤情報

・地盤レベル、地下水レベル

構内地盤高は、発電所用地については高潮等を考慮しCDL（工事基準面）+5.1m、貯炭場用地はCDL+4.5mとした。また、5号埠頭地盤高は、相馬港整備計画によりCDL+4.0mとなっている。地下水レベルは季節によりばらつきがあるが高い所ではGL-40cm~GL-1.0mである。

・地質概要

発電所周辺の地質については、基盤が新第三紀鮮新世の竜の口層、その上に第四紀の沖積層から構成されている。竜の口層は、凝灰質シルト岩を主体として、中・細粒砂岩、凝灰質泥岩などの薄層を挟む互層から構成されており、浸蝕により起伏差が大きい。

沖積層は、これらの凹凸ある地形に累積したもので、度重なった火山灰、砂礫、シルト、粘土、有機質土の堆積物と、潟の干拓が行われた人為的な盛土からなり、分布する地層が11層認められる。

■地震観測記録

・最大加速度、最大速度

ボイラ1F 371.9gal

タービン2F 585.1gal

■津波観測記録

構内全域において、2~3m程度冠水。

相馬新地-3

■被害状況（地震による被害）

- ・土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）
道路陥没 他
- ・液状化の有無
構内各所で液状化発生
- ・地盤沈下状況
構内各所で地盤沈下発生

■被害状況（津波による被害）

- ・土木構造物被害（クラック、変位、沈下、移動量など）
5号埠頭 埠頭監視室前管理用道路流出他
揚炭・揚油バース鋼管杭防食カバー損傷・流出
- ・設備被害 ※土木構造物との関連で特記すべきもの
例えば、タンクの転倒や配管架構が押し流された際のアンカー破断など
接岸荷降中の石炭船の離棧および衝突により揚炭機（アンローダー）が損傷
石炭船に接続している石炭受入コンベアはその衝撃で損傷、揚炭バース床版一部損傷
重油バース施設間連絡橋流出
- ・環境被害
座礁船（石炭船）より油流出

■復旧状況

- ・復旧の考え方
発電設備については原形復旧
- ・復旧設備、復旧方法、時期
平成24年3月30日復旧工事の一部を残し完了予定
 - ・PR館（平成24年4月着手予定）
 - ・発電所東側周囲柵（新地町の用水路復旧工事がある為）
- ・発電所の稼働状況（あるいは運転開始時期予想）
1号機 平成23年12月26日 点火
平成23年12月27日 並列
2号機 平成23年12月 7日 点火
平成23年12月19日 並列

■今後への展開

- （今回の地震の教訓として、今後の発電所計画に活かすことができる、あるいは、活かすべきとお考えの意見、課題、知見等）
- ・想定津波高さの見直し必要性
 - ・避難訓練が奏功
 - ・貯炭場北側に協力会社事務所があり、今回、孤立した為、避難道路の設置

東日本大震災による新地発電の被災状況と復旧状況について

3月11日午後2時46分頃、東北地方三陸沖を震源とする国内観測史上最大のマグニチュード9.0を記録する巨大地震が発生し、太平洋沿岸で大津波を観測しました。

東日本大震災は、新地発電所周辺の地震規模は震度6弱～6強、津波の高さは相馬港で10mを記録、沖防波堤を損壊し構内に浸入し、サービスビル1階部分やわくわくランドなどが冠水（最大3m）し、発電設備も被害を受けました。特に5号埠頭の揚炭機やベルトコンベアーは壊滅的な被害を受けています。

地震が発生した当日は、新地発電所の1号機は定検（約4ヶ月の定期点検に入ったばかりで定検作業準備の最中）のため停止中でしたが、2号機は運転中であり地震発生直後に緊急停止しました。地震発生後すぐに、構内にいる全員に避難を呼びかけ、大勢の作業員（定検中）を始め、わくわくランドに来ていた親子や発電所を視察していた一般のお客さまなど約1,100名がタービンフロア3Fに避難し、全員無事でした。

今回の震災は、津波の被災地域が広範囲に渡っており、当社社員においても家族・親戚等を亡くした者、および家屋を流された者、さらにはその後の福島第一原子力発電所の事故により避難生活を強いられている者も多数あります。その中で、一日も早く設備を復旧させ、発電再開することが最大の使命だと思います。

「私たちは頑張ります！ “地域の復興” “発電所の復旧” 明るい未来のために！！」

今般の東日本大震災による新地発電所の被災状況と復旧状況については、次のとおりです。

新地発電所の被災状況

1. 発生日時 平成23年3月11日（金）14時46分頃
2. 地震規模 震源：三陸沖（北緯38.1度、東経142.9度、牡鹿半島の東南東130km付近）
深さ：24km マグニチュード：9.0
震度：新地町6強、相馬市6弱
ボイラ1F 6弱（371.9gal）タービン2F 6強（585.1gal）
3. 津波 到達時刻15時51分頃 最大高さ 9.3m以上（気象庁発表）
4. 運転状況 1号機：停止中（定期事業者検査） 2号機：1000MW 定格運転中
5. 対応状況

【3月11日（金）】

- 14:46頃 地震発生
- 14:47 2号機緊急停止（タービン振動大による自動停止）
- 14:49 津波警報（大津波）発表
※当社従業員、構内作業員、見学者等（1,152人）全員避難
- 15:51 津波到達（9.3m以上（気象庁発表））
- 15:58 津波により全電源喪失
- 16:00～ 電気、通信手段喪失のためラジオ等による情報収集を継続（翌朝まで）

【3月12日（土）】

- ※大津波警報継続のため、津波監視員を配置し構内状況確認及び構内からの退避活動実施
- 6:30頃～ 構内各所の状況確認実施
救助のため自衛隊到着、PR館来館者、体調不良者より避難所への避難開始
- 12:00頃 構内避難者の構外への退避完了

6. 被災状況

【人身被害】

- ・構内での避難者数 1,152人（PR館来館者、視察・見学者等含む）
- ・発電所構外にて被災した方を、発電所構内にて死亡確認（3人）。

【設備被害】

- ・構内全域において、2～3m程度冠水。各設備冠水により取替もしくは修理が必要。
- ・アンローダ2基倒壊

【港湾施設】

- ・相馬港沖防波堤損壊、1号埠頭（船積施設付近）1-5バース岸壁・エプロン損傷有り

【その他】

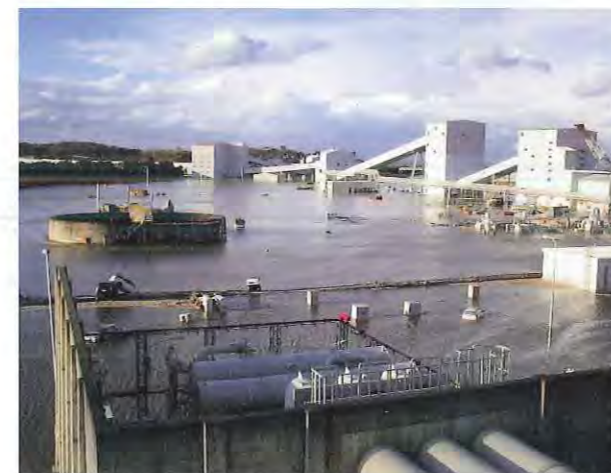
- ・わくわくランド（PR施設）冠水および建物一部損傷
- ・構内駐車中の車両（当社社員・関係会社、外来者等）のほとんどが浸水、破損（635台）



避難したタービン建屋から見た津波到来時（16:10撮影）



新地発電産業の事務所（16:11撮影）



タービンフロアより（16:54撮影）



約1,000名が避難したタービンフロアの様子（翌日7:27撮影）

相馬新地-5

新地発電所被災状況写真



発電所 北側



5号埠頭 アンローダ



5号埠頭 ベルトコンベア



1号埠頭 石炭灰船積設備



全壊した5号埠頭警備室



サービスビル大会議室



本館タービン



わくわくランド展示室



発電所北側に集めた瓦礫等



流され重なった車両



今泉地区側水路

今後の復旧予定 (目標)

現在の状況・課題

- (1) 発電所構内のガレキ・車両は撤去完了、構内に仮置き中。6月30日には高圧受電開始、今後本格復旧工事を行い、年内の発電再開、来年夏の完全復旧を目指す。ボイラー、タービンの詳細点検が未実施のため、点検結果により工程が変更する可能性がある。
- (2) 平成23年12月から重油での発電、1月から石炭での発電を予定しているが、沖防波堤の復旧状況によっては、波の影響により荷役が難しく、運転継続が困難な状況となる可能性がある。

○復旧方針：1・2号機同時進行における復旧を目指す。

平成23年	6月30日	起動用変圧器より所内受電	
	12月中旬	ボイラ点火	
	12月下旬	並列(重油専焼)	
平成24年	1月	重油燃焼による負荷	(※1: 350 ~ 500 MW)
平成24年	2月	重油および石炭混焼による負荷	(※2: 500 ~ 1000 MW)
平成24年	7月	石炭専焼による負荷	1000 MW運用予定

※ 但し、ボイラ・タービンの詳細点検未実施のため、点検結果によっては変更もあり。



5号埠頭 ベルトコンベア周辺 復旧作業



発電所外周のフェンス復旧作業



近隣地区からの瓦礫からの思い出の品々の回収



復旧作業中の構内企業の方々(休憩中のようす)



東日本大震災 新地発電所被災・復旧状況写真

被災直後（3月撮影）	現在の復旧状況	状況概要
		【発電所全体】 発電所北側タービンフロアより ①瓦礫、車両撤去、清掃完了 ②道路は、凹凸箇所があるものの、全面走行可能 ③構内瓦礫集積中。処理方法検討中 ④OF 洞道排水完了。ケーブル確認実施済み ⑤各所、砂利交換作業実施中 ⑥メーカー仮事務所設置中
		ボイラータービン全景 ①瓦礫、車両撤去、清掃完了 ②道路は、凹凸箇所があるものの、全面走行可能
		5号埠頭 ①瓦礫、車両撤去、清掃完了 ②道路は、埠頭監視室前を除き走行可能な状況 ③取放水路角落とし設置、取水口内部作業中 ④石炭船(白水)座礁中。石炭船油抜き取り作業完了、現在詳細内容について検討中 ⑤仮設プレハブにて守衛所運営中(7:00~19:00) ⑥防波堤がないため、高潮時には避難が必要な状況である
		揚炭機 ①3・4号揚炭機倒壊の恐れがあるため立入禁止措置中 ②3・4号揚炭機撤去、7月13日より開始 ③1・2号揚炭機各所点検実施中

被災直後（3月撮影）	現在の復旧状況	状況概要
		BC2および重油受入配管 ①重油受入配管撤去完了 ②BC2ベルトコンベア撤去完了 ③配管およびベルトコンベア搬入次第、設置開始
		SB外観 ①周辺瓦礫撤去、清掃完了 ②窓一部仮復旧 ③自動ドア復旧完了 ④エレベータ復旧完了
		SB 3F ①書類整理完了 ②社内ネットワーク復旧完了 ③N T T回線、仮復旧完了。正規復旧は11月頃予定 ④空調設備仮復旧 6月15日。 ⑤震災より食堂が使用できなかったため、弁当対応。6月20日より食堂開始。
		SB大会議室 ①瓦礫撤去、清掃完了 ②壁修理、6月下旬より実施中 SB分析室 ①瓦礫撤去、清掃完了 ②壁修理、6月下旬より実施

東日本大震災 新地発電所被災・復旧状況写真

被災直後（3月撮影）	現在の復旧状況	状況概要
		PR施設外観 ①瓦礫撤去、清掃完了
		PR施設内観 ①瓦礫撤去、清掃完了 ②壁修理、9月上旬より実施予定
		開閉所 ①瓦礫撤去、清掃完了 ②6月下旬受電に向け、詳細点検実施中
		給水ポンプ室 ①瓦礫撤去、清掃完了 ②詳細点検実施中 ③原水ポンプ運転準備中（7月上旬より仮運用開始予定） ④正規復旧、10月予定

被災直後（3月撮影）	現在の復旧状況	状況概要
		1号ボイラ建屋1F ①瓦礫撤去、清掃完了 ②詳細点検実施中 ③Aミル用減速機搬出（6/4） ④減速機搬出準備（Cミル・Gミル） ⑤ミル分解用ホイスト点検中
		タービンフロア1F（給水ポンプ） ①瓦礫撤去、清掃完了 ②詳細点検実施
		構内車両被災状況 ①発電所構内において被災した車両645台 ②安全に仮置き ③処分作業
		

【揚炭バース】「手摺工」

被災状況



ex) BL22付近

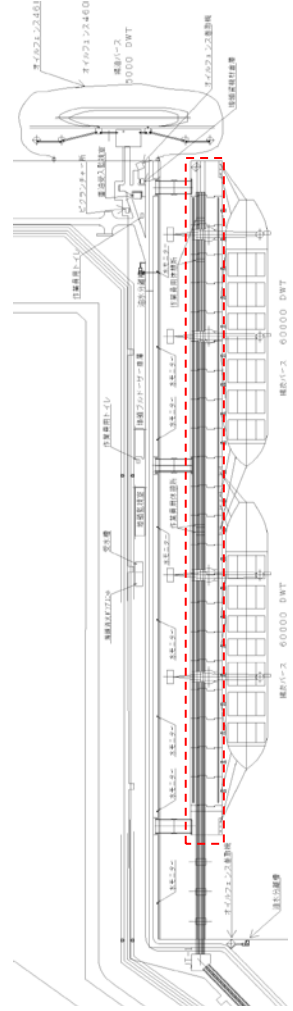
ex) BL12～13付近

現況



撮影2011.03.30緊急調査

揚炭バースの「手摺」は、震災による津波によって多くの箇所で見失われ、破損していた。それらについては新規製作部材を設置した。また、消失箇所の支柱は殆どの箇所で見失われ、残存していることから、残存している手摺も溶接部の強度に不安があった。そこで、残存箇所については復旧措置として根元部分の隅肉溶接による補強を実施した。



【揚炭バース】「上部工断面修復工」

被災状況



ex) No.4UL倒壊箇所(BL17付近)



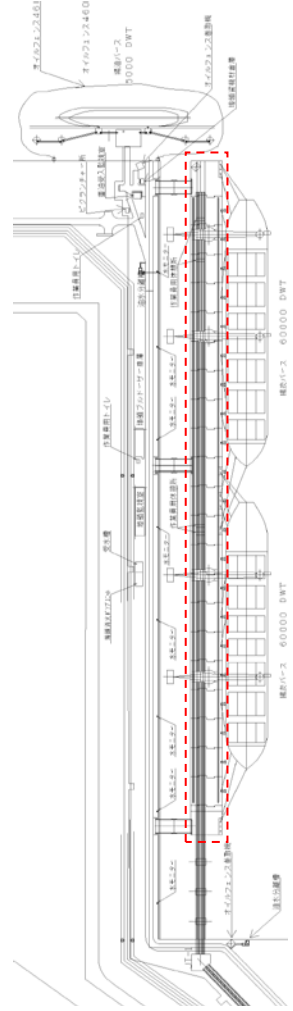
ex) No.3UL倒壊箇所(BL14付近)

現況



撮影2011.03.30緊急調査

揚炭バースでは、震災時の津波によるアンローダの倒壊、石炭船や漂流物等の外力による干渉によって、躯体コンクリートをはじめ各所において損傷が生じた。アンローダ解体が完了したのを受けてそれらの補修の施工に入ったが、解体工程の延長もあり、損傷箇所の露出が相当期間に及んでいるため、鉄筋の腐食や塩分の浸透が進んでいるものと考えられた。厳しい海洋環境に立地する重要構造物であるため、これらの補修には適切な材料選定をもって「断面修復」を行った。



相馬新地-11

【揚炭ベース】「レール基礎シーリング工」

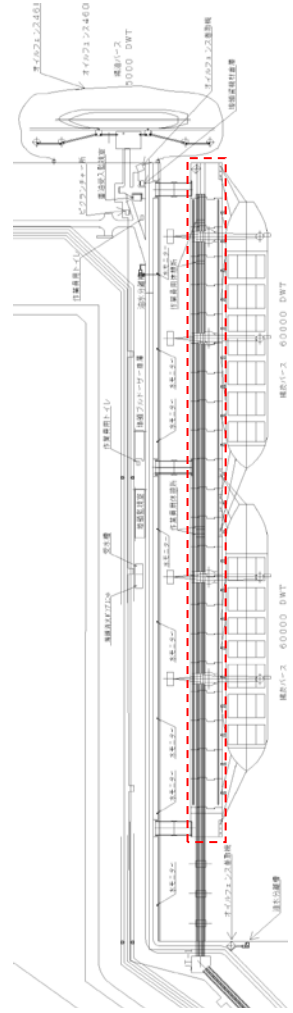
被災状況



現況



アンローダのレール基礎ではレールの台座部分の鋼材とコンクリート間の「弾性シーリング」に剥がれや浮き等の損傷が多く生じていた。鋼材腐食が懸念されるため、損傷箇所についてはシーリングの撤去・復旧を行った。



【揚炭バース】「防舷材復旧工」

被災状況



BL8防舷材



BL19防舷材

撮影2011.03.30緊急調査

「揚炭バース防舷材」では接岸していた石炭船の地震時の動揺等が主因と考えられるBL19のバイ型防舷材の損傷が激しく、BL8ではセル式防舷材の前面に設置されている防衝板の変形が確認された。それらに対して、撤去を行うとともに、現バース利用状況で接岸時に船舶と干渉しない同型の健全な部材を取り外して交換をした。

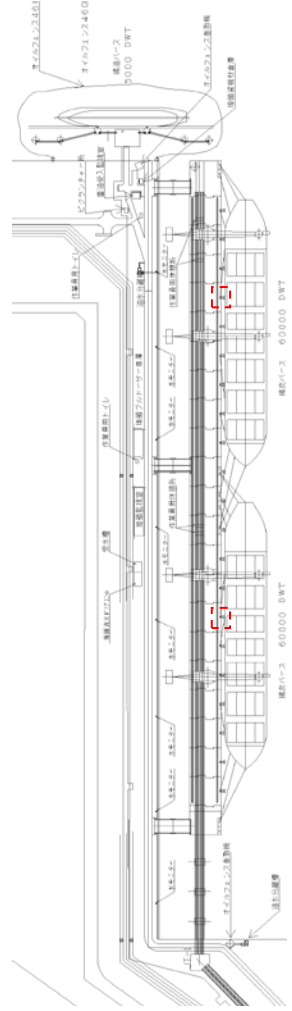
現況



(BL12防舷材を取り外して設置した)



(BL22防舷材を取り外して設置した)



【揚炭バース】「連絡橋復旧工」

被災状況

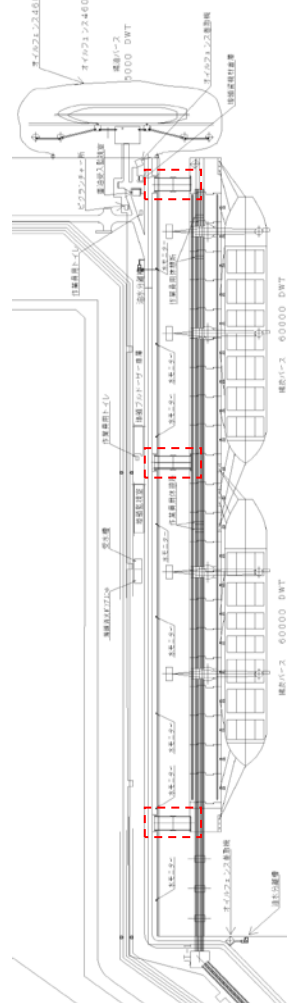


撮影2011.01.18
(桁上部の損傷)

撮影2011.03.30緊急調査

No.1連絡橋では桁と橋台の干渉等によって橋台に損傷が生じていたことから、地震の影響によるそれぞれの「連絡橋」の損傷状況の詳細調査を行った。No.2連絡橋は3号アンローダの倒壊によって、そのカウンタウェイが連絡橋に落下したためにPC桁に損傷が生じていたことから、調査結果をもとに鋼板接着補強等によって復旧した。

現況



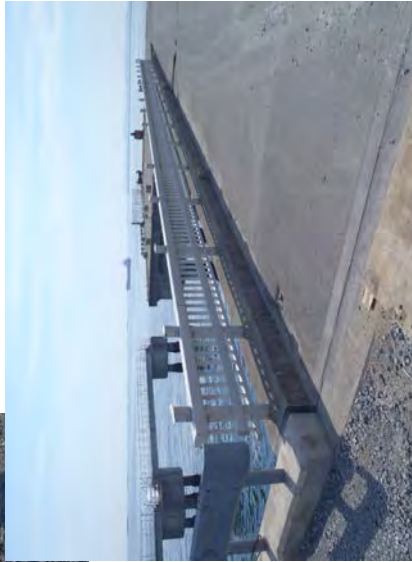
相馬新地-14

【揚炭バース】「アルミ高欄復旧工」

被災状況

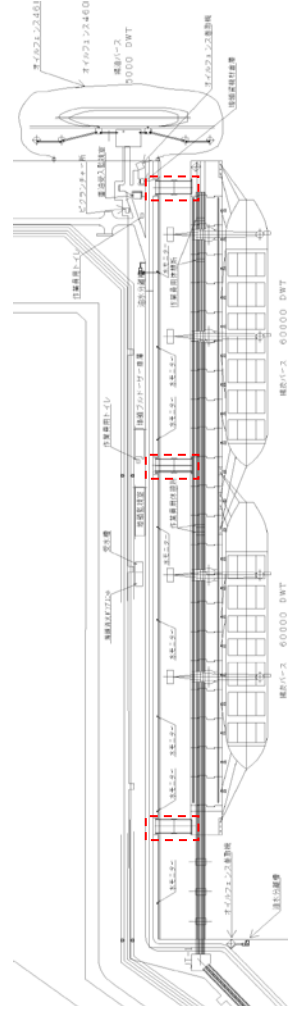
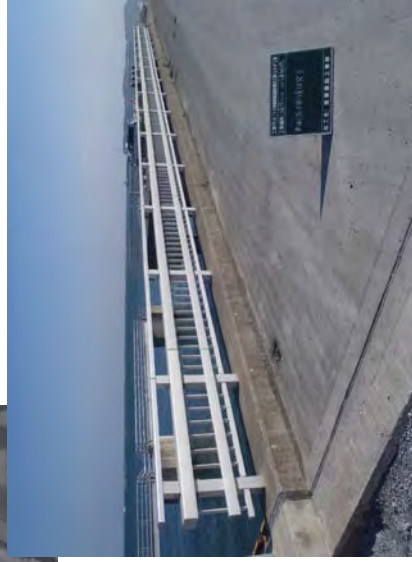


撮影2011.05.25



撮影2011.05.25

現況



揚炭バース連絡橋の「アルミ高欄」は一部部材(笠木等)の流出や損傷が生じていたため、復旧を行った。

【揚油バース】「施設間連絡橋復旧工」

被災状況

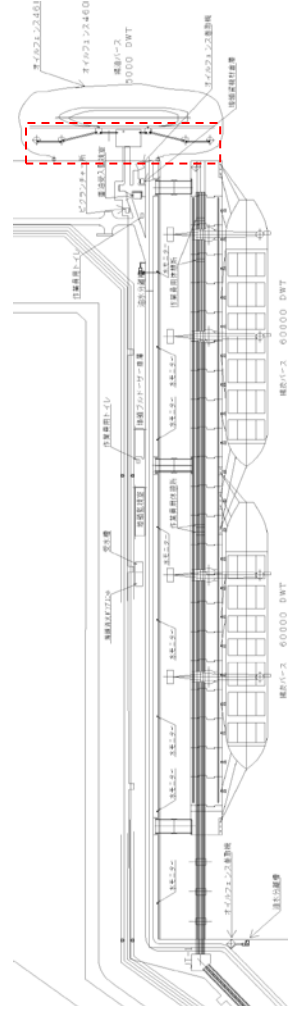


現況



撮影2011.06.01

揚油バースでは震災による津波による「施設間連絡橋」が流失あるいは損傷するなどしていた。そこで流出部材は潜水探索等して、残存部材とともに起重機船にて撤去・運搬し、損傷部材については切断して指定箇所へ運搬した。損傷した新規製作が必要な施設間連絡橋部材は工場製作を行い、再利用可能な部材は修繕を行った。その後、それぞれの部材を起重機船にて運搬・架設した。



【揚油バース】「防食カバ―復旧工」

被災状況



ex) SBD

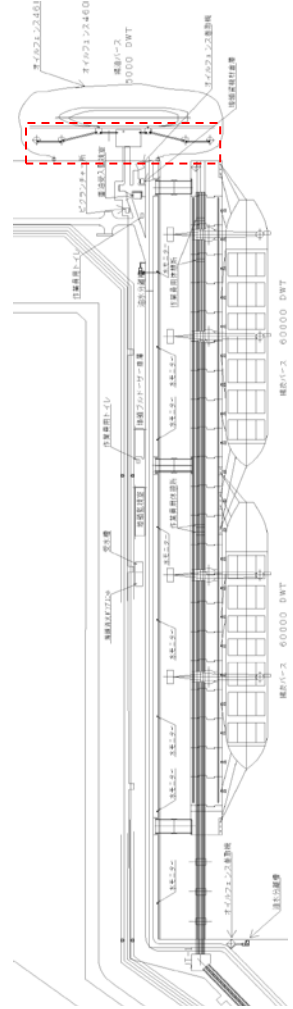


ex) NBD

撮影2011.06.08

揚油バースの「防食カバ―」は震災による津波による津波で一部の鋼管が露出するほどの損傷が生じており、緊急に復旧が必要な状態であった。更にその後の波浪等によって鋼材露出等の損傷範囲の拡大が確認されていた。そこで、損傷した被覆防食の復旧を行った。

現況



【揚油バース】「進入路復旧工」

被災状況

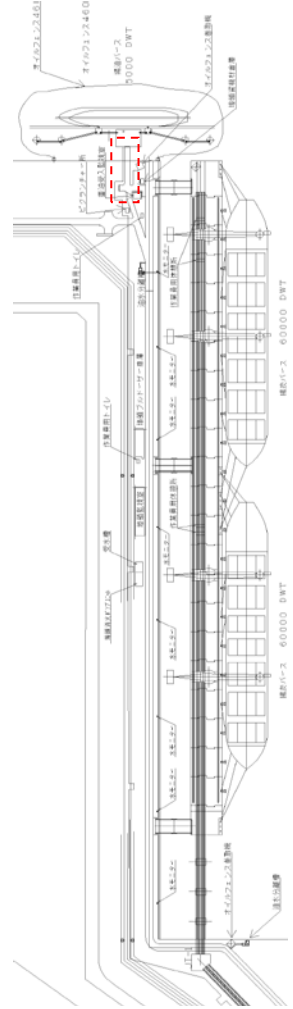


現況



撮影2011.03.30緊急調査

揚油バースの「連絡橋進入路」は液状化等の影響によって沈下しており、擁壁ごと大きく沈下して擁壁間の大きな高低差や土砂の流出などが生じていた。これに対して沈下した擁壁部においては嵩上げを行うとともに連絡橋進入路の全面的な復旧を行った。



【オイルフェンス巻取り機他】「オイルフェンス巻取り機復旧工」

被災状況

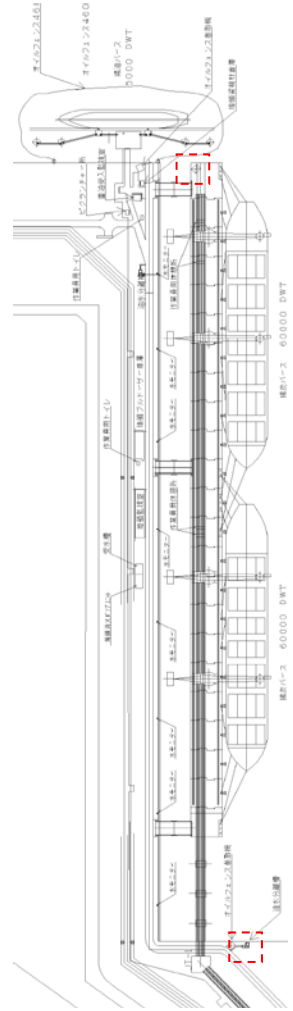


撮影2011.09.28



撮影2011.03.30緊急調査

現況



5号埠頭B護岸際に位置する「オイルフェンス巻取り機」は震災による津波で損壊したが、その基礎コンクリートについても基礎地盤の液状化によって大きく不同沈下していた。そこで、残存する基礎コンクリート等の解体撤去処分を行うとともに、基礎コンクリートの新規製作を行った。揚炭バースBL23に位置する「オイルフェンス巻取り機」は震災による津波で流失した。残存する基礎コンクリートを有効利用するためには、アンカーボルトの再設置が必要であったため、コアドリリングによる既設の除去を含めて基礎の復旧を行った。

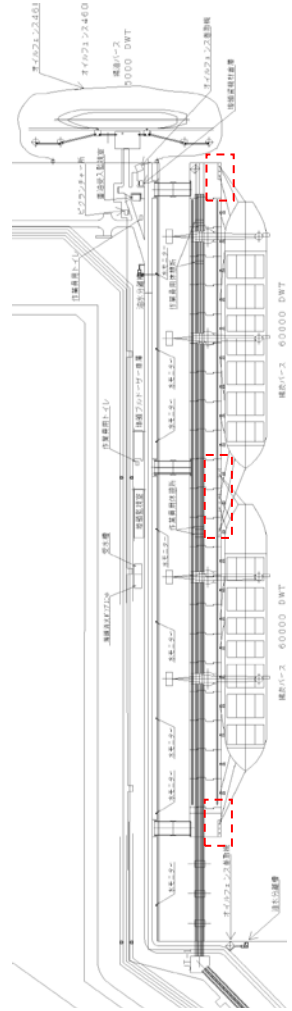
【オイルフェンス巻取り機他】「クイックリリースフック点検工」

被災状況



撮影2011.06.02

現況



揚炭バースの「クイックリリースフック」は震災時の津波による影響で大きな外力を受けているとみられ、さらには海水で水没したこともあり、健全に作動しない可能性があった。そこで、継続使用の可否を判断するため、詳細な点検を行った。

【既設護岸】「既設護岸補強工」

被災状況

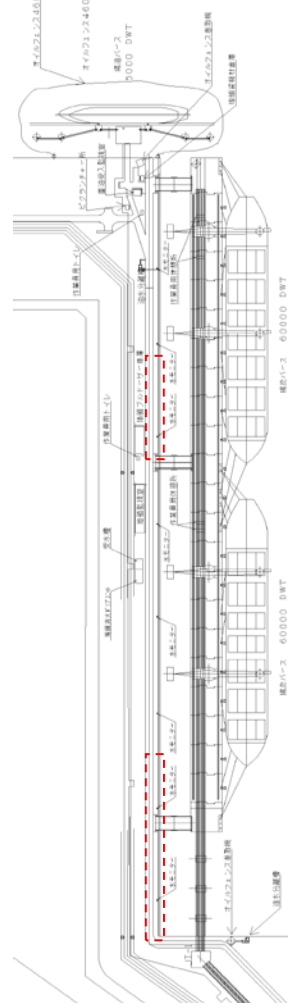


現況



撮影2011.03.30緊急調査

既設護岸の鋼管矢板は地震力あるいは津波の引き波による大きな水圧の作用などが原因として考えられる前面への大きな変位が生じていた。これに対して、「グラウンドアンカーによる補強」および「捨石による根固め補強」を施工して護岸機能を回復した。更に既設護岸のグラウンドアンカー工の施工完了後に、アンカー一体部に防護コンクリートを施工した。






相馬新地-22
 ■ 5号埠頭周圍復旧工事

設備名称	被災状況	現況	備考
<p>岸壁端部～2-4</p>			
<p>(1-28～1-37)</p>			

相馬新地-23
 ■合流槽手摺

設備名称	被災状況	現況	備考
合流槽			
合流槽			

相馬新地-24
 ■ 合流槽手摺

設備名称	被災状況	現況	備考
合流槽			
合流槽			

相馬新地-25
■土木B工事

設備名称	被災状況	現況	備考
<p>敷砂利復旧工事 1号タービン 北側</p>			
<p>構内道路復旧 工事 南門北道路 (煙突通り)</p>			

【管理用道路】「連絡橋進入路復旧工」

被災状況



ex) No.2連絡橋進入路
EPS路体部分の破壊が生じていた



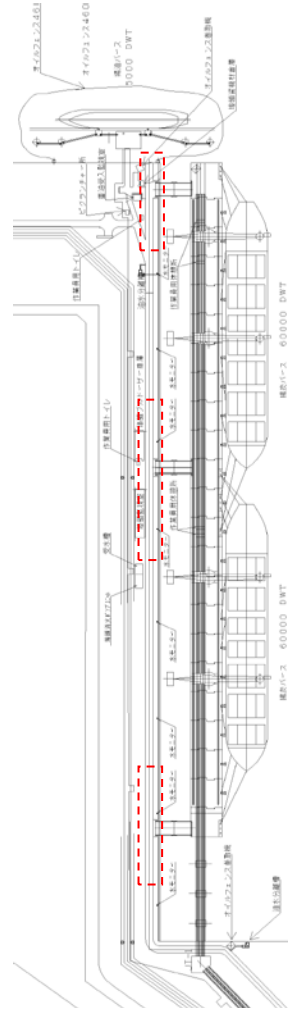
ex) No.3連絡橋進入路

現況



撮影2011.03.30緊急調査

護岸際に位置する揚炭バース管理用道路は液状化等の影響によって沈下しており、「連絡橋進入路部」においては擁壁ごと大きく沈下して連絡橋との大きな高低差や土砂の流出などが生じていた。これらに対して進入路の擁壁においてはプシキヤスト部材による嵩上げ、および軽量盛土を施工することによって、全面的に連絡橋進入路の復旧を行った。(現況は下層路盤まで)



【管理用道路】「管理用道路復旧工」

被災状況



ex) No.1～No.2連絡橋進入路

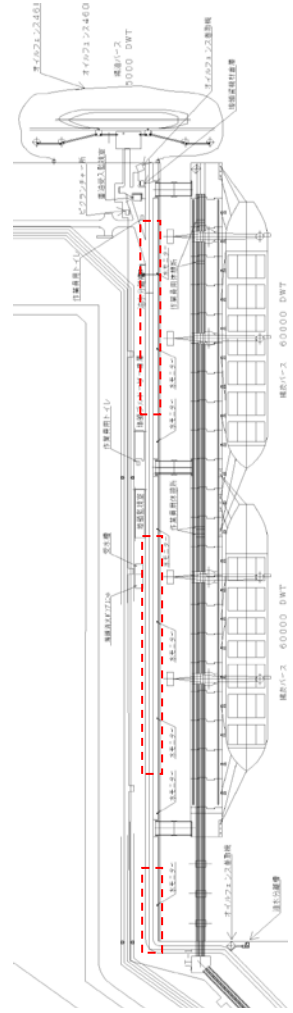


ex) No.2～No.3連絡橋進入路

現況



撮影2011.03.30緊急調査



護岸際に位置する「揚炭バース管理用道路」は液状化等の影響によって沈下しており、舗装や用排水工が破壊されて土砂の流出などが生じていた。これらに対して全面的な復旧を行っている。(現況：下層路盤施工中)

【管理用道路】「油水分離槽復旧工」

被災状況

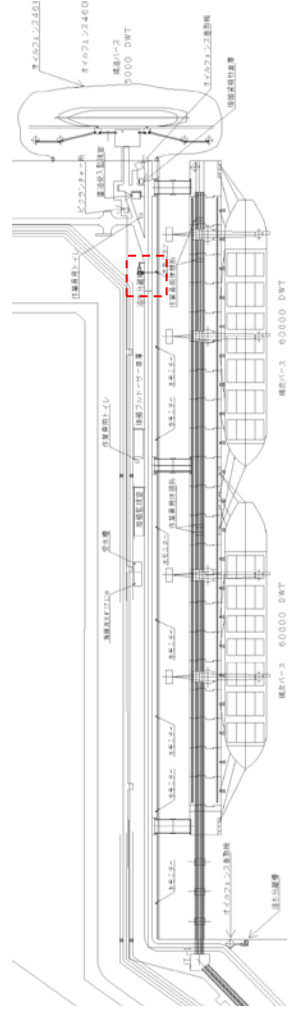


現況



撮影2011.03.30緊急調査

「油水分離槽」は震災による液化化等によって大きく沈下した。震災直後には損傷した横断暗渠からの土砂流出により陥没が確認されているが、他業種施工の作業都合により、復旧措置のないまま埋め戻されている状態であった。そこで、試験により、暗渠構造(異材質接続部、2箇所)の確認を行い、暗渠延長を設計した上で施工を行った。沈下した分離槽については天端を周辺地盤以上(+200mm)となるように嵩上げを行い、手摺の復旧を行った。



【管理用道路】「空隙充填工」

被災状況



ex) No.1連絡橋橋台部



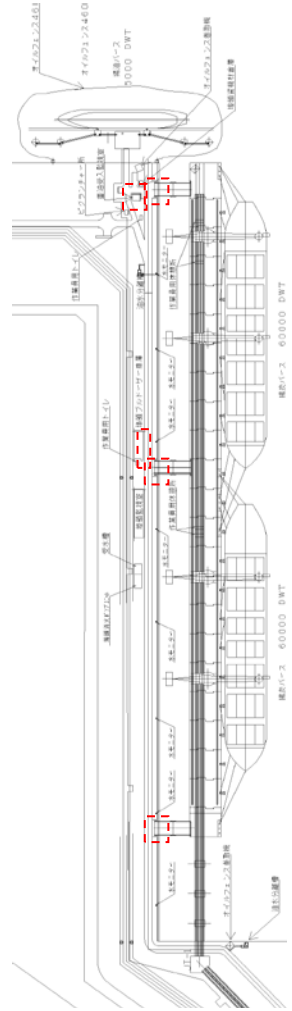
ex) 重油受入監視室

現況



撮影2011.03.30緊急調査

5号埠頭の埋め立て地盤は震災による液状化等の影響によって沈下しており、連絡橋や鋼管矢板護岸などの杭構造物と大きな高低差が生じている。そのため、杭構造物の下部を始めとして構造物と地盤との間に空洞が多く生じていた。また、杭構造物同士が接する部分についても揺れによる相互の干渉によるものと考えられる隙間が生じていた。
そこで当工事では連絡橋橋台部分等の対策措置としてエアモルタルによる「空隙充填」を行った。

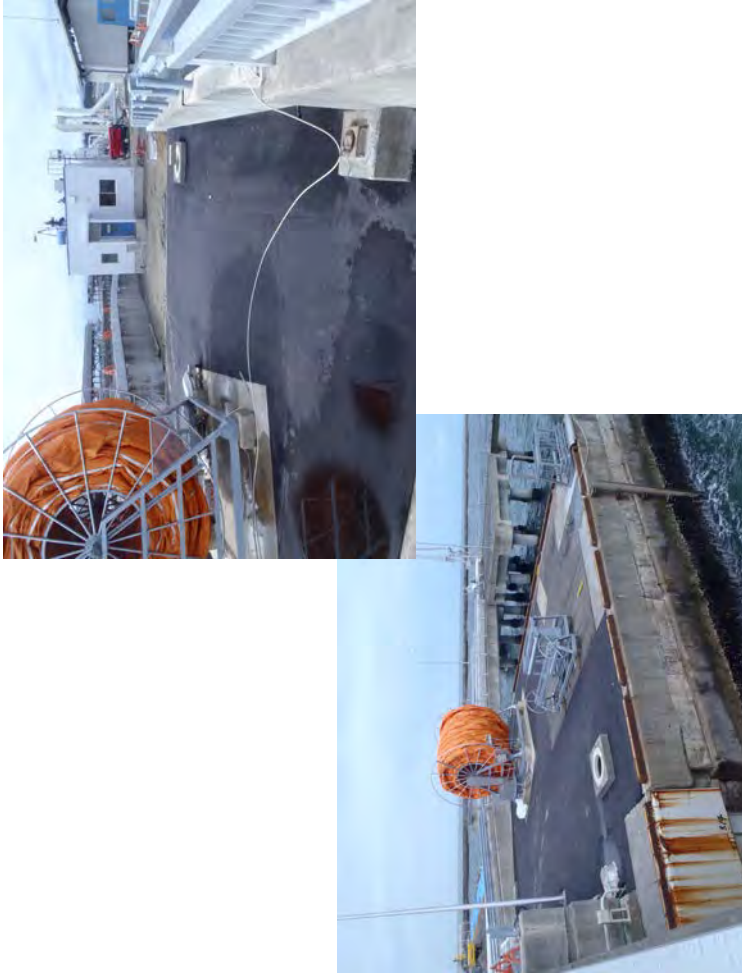


【管理用道路】「先端護岸復旧工」

被災状況

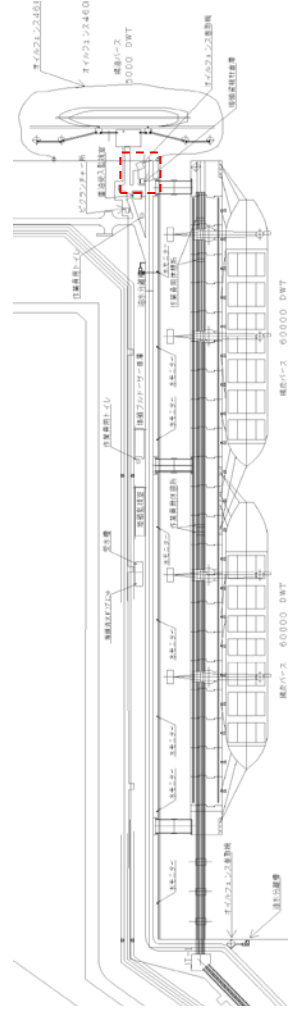


現況







撮影2011.03.30緊急調査

震災時の沖合防波堤の崩落や地殻変動による沈下の影響によって、揚油バース背面側に位置する先端護岸は高潮・波浪時の越浪時の越浪が大きく増している。後背に存在する重油受入監視室は電子機器を配する重要施設であり浸水を許容できないため、防波堤の復旧までの期間の対策が必要である。そこで、仮設の波返しとして擁壁を設置を行う(現況:未施工)。併せて、侵食された当該部の舗装を復旧(施工済み)して「先端護岸復旧」を行う。



相馬新地-31
■ 構内道路

設備名称	被災状況	現況	備考
<p>今神橋 右岸</p>			
<p>1号 西側</p>			

常磐共同火力 勿来火力発電所

■事業者名

常磐共同火力株式会社

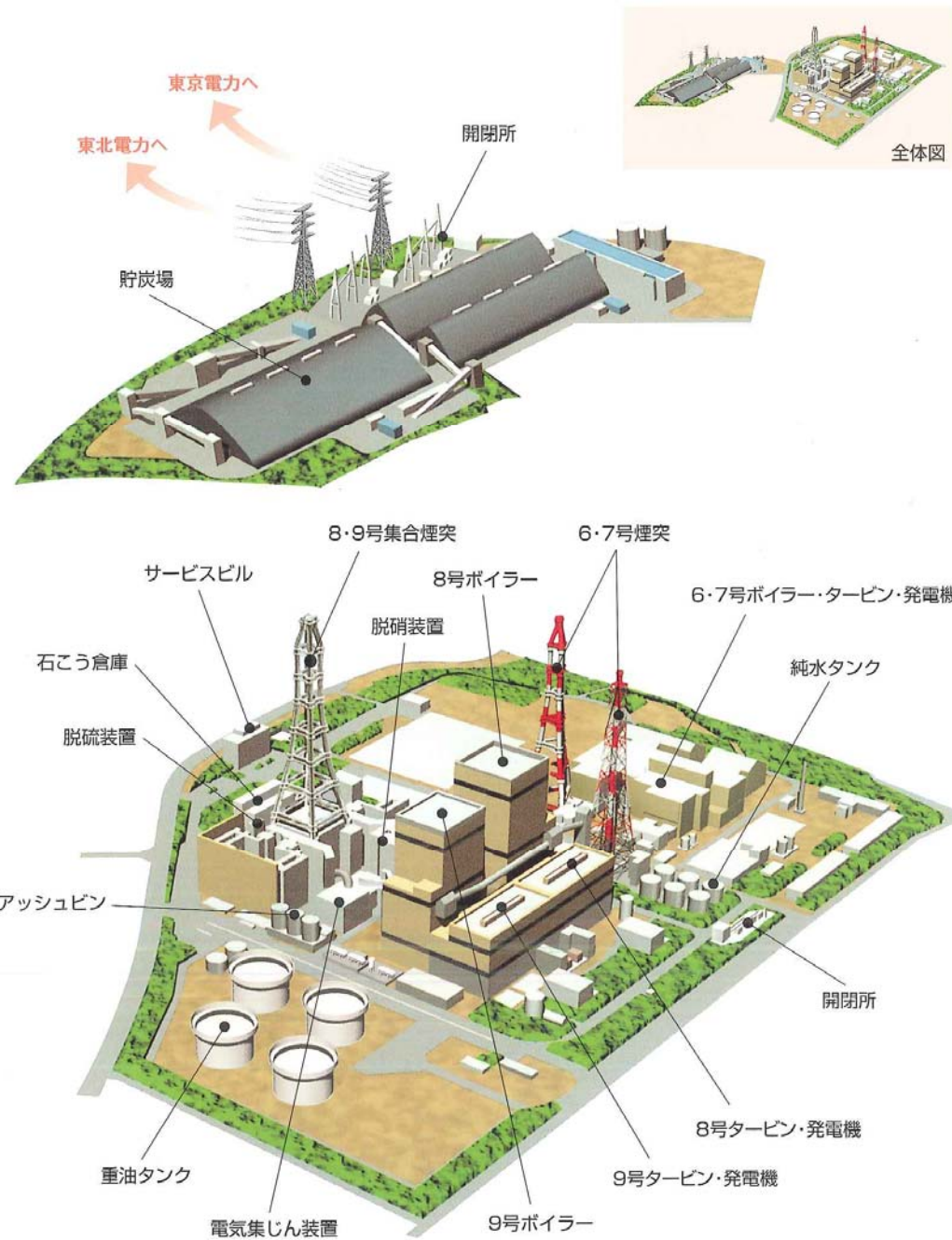
■発電所名

勿来発電所

■設備概要

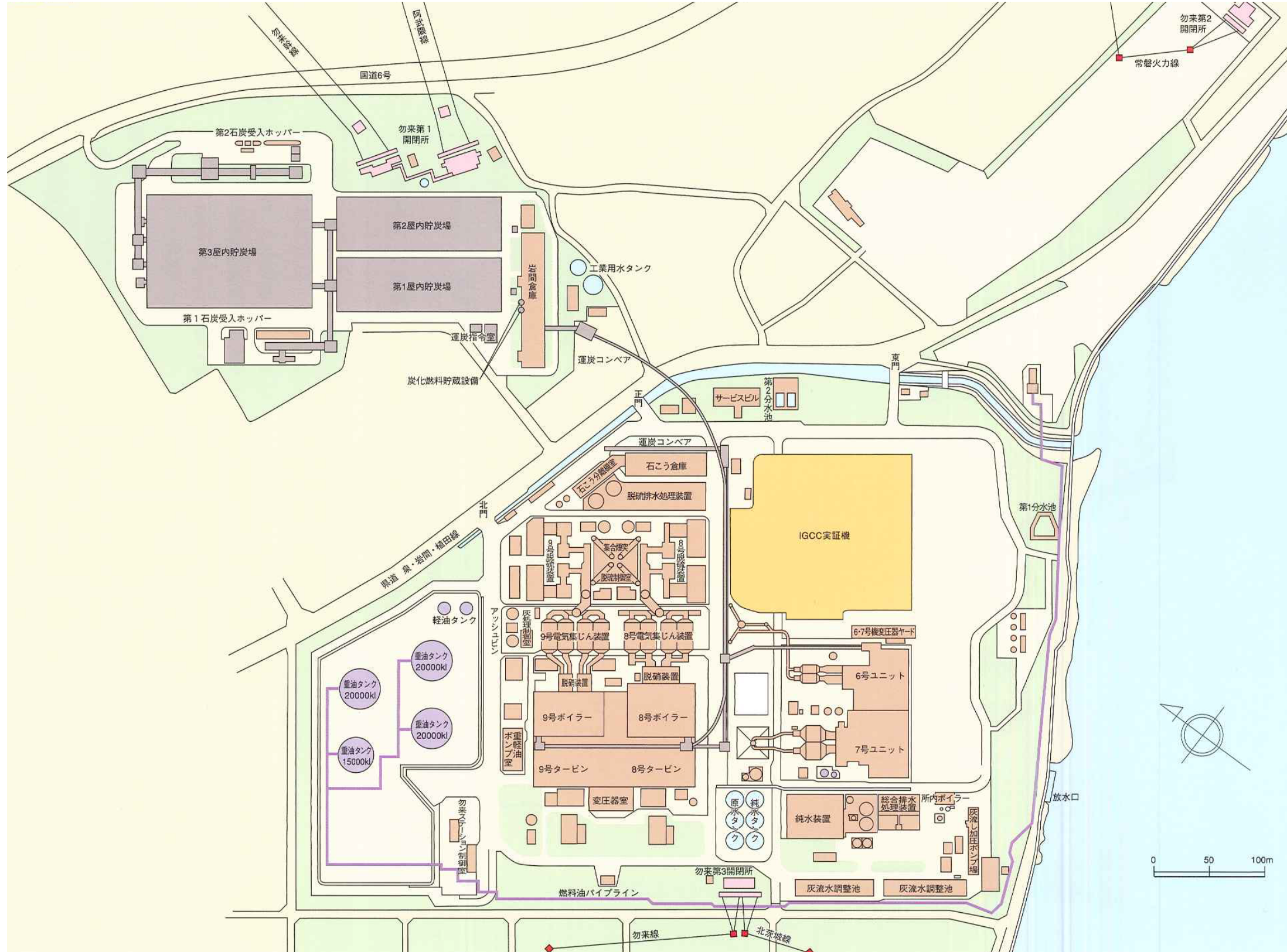
・全体仕様

6号機	17.5万kW (重油)	1966年11月運開
7号機	25.0万kW (石炭・炭化燃料)	1970年10月運開
8号機	60.0万kW (石炭)	1983年9月運開
9号機	60.0万kW (石炭・重油・炭化燃料)	1983年12月運開



ユニット	1・2号機	3・4・5号機	6号機	7号機	8号機	9号機	
出力	35,000kW×2	75,000kW×3	175,000kW	250,000kW	600,000kW	600,000kW	
運転開始年月日	1号 1957年11月1日 2号 1957年11月30日 (1983年9月30日廃止)	3号 1960年9月23日 4号 1961年7月21日 5号 1961年10月10日 (1987年4月10日廃止)	1966年11月30日	1970年10月26日	1983年9月9日	1983年12月15日	
ボイラー	形式	水管式放射2胴形	水管式放射単胴再熱形	ベンソンボイラー貫流形	放射再熱式強制循環形	放射再熱式変圧貫流形	同 左
	蒸気圧力(SH)	6.1MPa (62.5kg/cm ²)	10.3MPa (104.8kg/cm ²)	17.1MPa (174.0kg/cm ²)	17.3MPa (176.0kg/cm ²)	25.0MPa (255.0kg/cm ²)	25.0MPa (255.0kg/cm ²)
	蒸気温度(SH)	488℃	541℃	571℃	571℃	543℃	541℃
	蒸気温度(RH)	—	541℃	543℃	541℃	568℃	568℃
	蒸発量	160t/h	260t/h	570t/h	825t/h	1,940t/h	1,940t/h
	使用燃料	石炭・重油 (当初石炭専焼)	石炭・重油 (当初石炭専焼)	重油 (当初石炭専焼)	石炭・炭化燃料 (当初石炭専焼)	石炭・炭 (当初石炭・重油混焼)	石炭・重油・炭化燃料 (当初石炭・重油混焼)
	製造者	三菱重工	三菱重工	パブコック日立	三菱重工	三菱重工	IHI
タービン	形式	衝動式2気筒串形複流排気形	衝動式2気筒再熱串形複流排気形	衝動式3気筒再熱串形3流排気形	衝動式3気筒再熱串形4流排気形	衝動再熱式クロスコンパウンド4流排気形	同 左
	定格出力	35,000kW	75,000kW	175,000kW	250,000kW	600,000kW	600,000kW
	蒸気圧力	5.9MPa (60kg/cm ²)	10.0MPa (102kg/cm ²)	16.6MPa (169kg/cm ²)	16.6MPa (169kg/cm ²)	24.1MPa (246kg/cm ²)	24.1MPa (246kg/cm ²)
	蒸気温度(SH)	485℃	538℃	566℃	566℃	538℃	538℃
	蒸気温度(RH)	—	538℃	538℃	538℃	566℃	566℃
	回転数	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm
	製造者	石川島芝浦タービン日立	日立	日立	日立	日立	東芝
発電機	形式	水素冷却横置円筒回転界磁耐燃構造形	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	定格容量	41,200kVA	92,000kVA	224,000kVA	280,000kVA	350,000kVA×2	350,000kVA×2
	電圧	13,200V	13,200V	12,000V	15,400V	18,000V	18,000V
	回転数	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm	3,000rpm
	製造者	東芝・日立	日立	日立	日立	日立	東芝
変圧器	形式	屋外用3相空素封入送油風冷式	同 左	同 左	屋外用3相送油風冷式	同 左	同 左
	定格容量	41,200kVA	92,000kVA	210,000kVA	270,000kVA	680,000kVA	680,000kVA
	一次電圧	12,600V	12,600V	11,400V	15,000V	17,550V	17,550V
	二次電圧	69-66-63kV	69-66-63kV	69-67.5-66kV	161-157.5-154-150.5kV	275kV±7.5% (負荷時電圧調整器付)	同 左
	製造者	東芝	日立	富士電機	富士電機	日立	三菱電機

常磐勿来-2
・配置図



常磐勿来-3

■地盤情報

- ・地盤レベル： TP+2457
地下水位レベル： TP+1000
- ・全般的な土層構成
新第三期多賀層の砂岩シルト，洪積層
基盤（N値50）までの深さ：約5m～35m ⇒ 鮫川側へ傾斜
- ・地盤改良
地盤改良箇所：なし
工法：－
仕様：－

■地震観測記録

- ・最大加速度、最大速度
平成23年3月11日 14:46 ⇒ 470.9ガル（震度6弱）
平成23年4月11日 17:16 ⇒ 256.79ガル（震度6弱）
平成23年4月12日 14:07 ⇒ 314.0ガル（震度6弱）
- ・計器設置場所
8・9号タービン架台2階 TP+7257

■津波観測記録

- ・浸水高、浸水深、遡上高
小名浜：3.33m
構内の浸水高 地盤レベル+約1.8m（TP+4257）
防潮堤越波高さ TP+4.5m以上（※TP+6.2m未満）
- ・浸水の概略範囲（発電所配置図等への記載）
別添付図

■主要土木設備の仕様・被害状況・復旧状況・課題

○港湾設備

- 仕様
公共の小名浜港を利用
- 被害
甚大
- 復旧状況
現在 国・県で復旧中

○防潮堤

- 仕様
公共の防潮堤
・コンクリートによる湾曲壁型（公共の防潮堤）
・発電所北側以降⇒TP+4.5m
・発電所南側以降⇒TP+6.2m
- 被害状況
・発電所北側以降⇒津波の越波により殆ど破壊された。
・発電所南側以降⇒津波は越波せず。構造体のズレや沈下あり。
- 復旧状況
・トンパック土嚢をTP+4.5m積み仮防潮堤としている。
- 今後の計画
・県の計画ではTP+7.2mの防潮堤を再構築する予定。

○復水器冷却水路設備

□第1取水路（復水器冷却水路設備-6.7号機用）

- 仕様
・取水量：24t/s
・取水口（バースクリーン方式） 断面積=21.114㎡
・取水路（トンネル） 断面積=13.515㎡ L=205.719m
・第1ポンプ場（沈砂池+ヘッドタンク） 水平面積=3,980㎡ L=99m
・送水路（トンネル+ボックスカルバート） 断面積=12.414㎡ L=2,082.026m
・分水池 水平面積=398.628㎡ L=23.232m
上記延長 L=2,409.977m
・6・7号給水路，2次循環水ポンプ場，余水路
・放水路（ボックスカルバート） 断面積=6.78㎡ L=394.552m

被害状況

- ・送水路のボックスカルバートの伸縮目地にズレ（上下に5cm程度）が生じた箇所あり。
- ・6・7号給水路，2次循環水ポンプ場，余水路に，ひび割れ・伸縮目地間の離れ（10cm程度）が生じた箇所あり。

常磐勿来-4

復旧状況

- ・ボックスカルバートの伸縮目地にズレは漏水が殆どないため今回は処置せず
- ・ひび割れは導水処理の上で防水モルタルで修理。また伸縮目地間の離れは伸縮目地再構築を行う。

今後の課題

- ・余震が続く中でドライアップしての詳細調査が部分的に出来なかったため、全線を完全ドライアップして詳細調査を行い、水路の補修を実施すること。

□第2取水路（復水器冷却水路設備-8.9号機用）

仕様

- ・取水量：40 t/s × 2
 - ・取水口（バースクリーン方式） 断面積=38.4 m² × 2
 - ・取水路（トンネル） 断面積=17.756 m² L=835.1m（平均） × 2
 - ・第2ポンプ場（沈砂池+ヘッドタンク） 水平面積=7,868.607 m² L=151.3m × 2
 - ・送水路（トンネル+ボックスカルバート） 断面積=17.757 m² L=1,659.06m × 2
 - ・分水池 水平面積=711.617 m² L=25.3m × 2
 - ・分水路（ボックスカルバート） 断面積=15.03 m² L=483.165m（平均） × 2
 - ・2次循環水ポンプ場, 余水路
 - ・放水路（ボックスカルバート） 断面積=13.883 m² L=371.639m（平均）
- 延長 L=3,598.038m（平均）

被害状況

- ・取水口側崖が崩落
- ・放水路のボックスカルバートの伸縮目地にズレ（上下に5~10cm程度）が生じた箇所あり。
- ・分水路・放水路の目地が損傷・、ひび割れあり。また放水路の伸縮目地間の離れ（10cm程度）が生じた箇所あり。

復旧状況

- ・取水口側崖の崩落土砂撤去
- ・ボックスカルバートの伸縮目地にズレは漏水が殆どないため今回は処置せず
- ・ひび割れは導水処理の上で防水モルタルで修理。また伸縮目地間の離れは伸縮目地再構築を行う。

今後の課題

- ・余震が続く中でドライアップしての詳細調査が殆ど出来なかったため、全線を完全ドライアップして詳細調査を行い、水路の補修を実施すること。

○燃料輸送用洞道

仕様

- ・燃料輸送用洞道（トンネル+ボックスカルバート） 断面積=14.64 m² L=4,205m

被害状況

- ・排水ポンプが停止し水没

- ・ボックスカルバートの伸縮目地にズレ（上下に5cm程度）が生じた箇所あり。

復旧状況

- ・導水処理の上で防水モルタルで修理。

○0F ケーブル洞道

仕様

- ・0F ケーブル洞道（ボックスカルバート）

被害状況

- ・排水ポンプが停止し水没
- ・ボックスカルバートの伸縮目地にズレ（上下に5cm程度）が生じた箇所あり。

復旧状況

- ・導水処理の上で防水モルタルで修理。

○各種基礎

仕様：直接基礎

- ・重軽油配管基礎-2基
- ・アンモニア配管基礎-1基
- ・8・9号海水ブースターポンプ基礎-4基
- ・ベルトコンベア基礎-1基
- ・蒸留水タンク基礎-2基
- ・その他の基礎

被害状況

- ・液状化による20~50cm程度沈下

復旧状況

- ・上記5箇所は場所打ち杭を設置し、基礎を再構築
- ・その他の基礎はペDESTAL等を、モルタルで修理

○橋形クレーン軌条基礎

仕様：直接基礎

- ・6・7号2次循環水ポンプ場軌条基礎 L=24.3m
- ・加圧・灰流しP槽軌条基礎 L=23.1m

被害状況

- ・液状化による30~70cm程度沈下

復旧状況

- ・軌条下部の地盤改良（一部場所打ち杭）を行い、基礎を再構築

常磐勿来-5

○構内道路

仕様

- ・アスファルト舗装及び一部コンクリート舗装
- ・現場打側溝及び既成U型側溝

被害状況

- ・液状化による20~150cm程度沈下
- ・道路のひび割れ・陥没あり
- ・側溝の沈下・破損あり

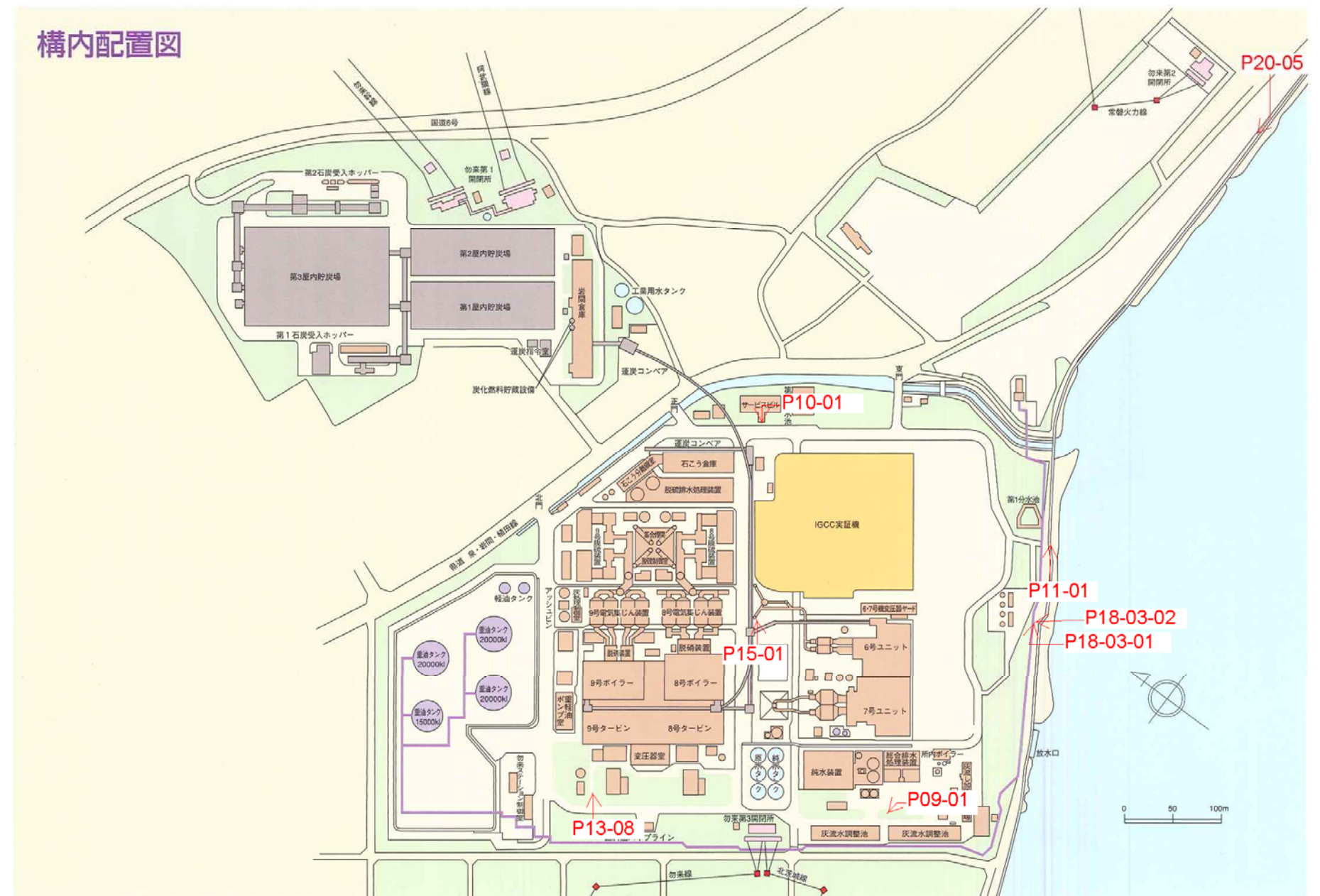
復旧状況

- ・舗装の打替え及びオーバーレイ
- ・側溝の入替え及び笠上げ

今後の課題

- ・完全には復旧出来ていないため順次修理する予定。

写真位置図





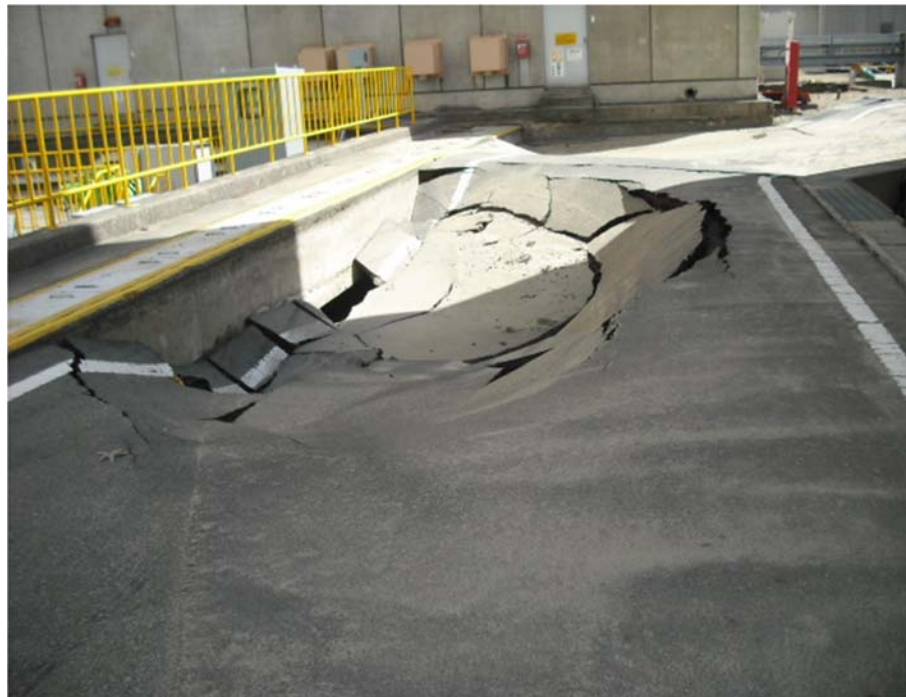
P09-01 (灰流水調整池〔海側〕の北側の緑地)
地震による地割れ発生 液状化も発生している



P10-01 (サービスビル前に押し寄せる津波)
手前に見える建物の屋根がサービスビルの凸部



P11-01 (第1分水池南側付近 写真右側が海)
防潮堤背面道路の路面陥没と防潮堤倒壊、
防潮堤下部は基礎の手当が不十分であった模様



P13-08 (9号タービン前の道路陥没変形)
正面が9号タービン建屋



P15-01 (6号煙突脚部座屈)
3脚のうちの1脚



P18-03-01 (第1分水池南側)
パイプライン配管部破断 (構内平面図の紫色の線が配管)



P18-03-02 (第1分水池南側)
パイプライン配管部破断 (構内平面図の紫色の線が配管)



P20-05 (勿来第2開閉所の脇)
防潮堤倒壊
(写真中、遠方に見える赤白煙突のうち右側が6号、左側が7号)

鹿島共同火力 鹿島共同火力発電所

■事業者名

鹿島共同火力株式会社

■発電所名

鹿島共同発電所

■設備概要

・全体仕様

- 1号 35万kW (高炉ガス・コークス炉ガス・重油) 昭和48年7月
- 2号 35万kW (高炉ガス・コークス炉ガス・重油) 昭和48年12月
- 3号 35万kW (高炉ガス・コークス炉ガス・重油) 昭和57年2月
- 4号 35万kW (高炉ガス・コークス炉ガス・重油) 昭和57年3月
- * 2号は長期計画停止中

・発電所配置図



・主要土木設備仕様

○復水器冷却水路設備

取水口 : 形式、取水量など

形式 : 取水塔式

取水量 : 55.5m³/s (1/2号 25m³/s ; 3/4号 30.5m³/s)

取水路、取水槽 : 内空寸法など

1/2取水路断面積 : 3.15m × 3.15m × 2連

3/4取水路断面積 : 3.30m × 3.30m × 2連

放水槽、放水路 : 内空寸法など

1/2放水路断面積 : 3.80m × 3.80m × 1連

3/4放水路断面積 : 4.00m × 4.00m × 1連

放水口 : 形式、放水量など

形式 : 開渠式

1/2号放水量 25.0m³/s

3/4号放水量 30.5m³/s

○燃料設備

タンク : 燃料種別、形式、容量など

重油タンク : 2万kl × 2基

3万kl × 2基

○その他 特記すべき設備があれば

鹿島共火-2

■地盤情報

- ・地盤レベル、地下水レベル
地盤レベル：Y P+5.000
地下水レベル：Y P+4.800
- ・地盤構成：全般的な土層構成
第四紀砂質土層
- ・地盤改良：地盤改良箇所、工法、仕様
地盤改良箇所：なし
工法：－
仕様：－

■地震観測記録

- ・最大加速度、最大速度
最大加速度：359 cm/s/s
最大速度：不明 cm/s
- ・計器設置場所
計器設置場所：タービン架台2F GL+4.45m

■津波観測記録

- ・浸水高、浸水深、遡上高
－ 津波被害無し
- ・浸水の概略範囲(発電所配置図等への記載)
－

■被害状況(地震による被害)

- ・土木構造物被害(クラック、変位、沈下、移動量など)
取水路内土砂流入、燃料タンク防油堤傾斜、水路等点検口の破断、水槽関係浮き上がり、埋設排水管断裂、道路陥没 他
- ・液状化の有無
構内各所で液状化発生
- ・地盤沈下状況
構内各所で地盤沈下発生

■被害状況(津波による被害)

- 津波被害無し
- ・土木構造物被害(クラック、変位、沈下、移動量など)
－
- ・設備被害 ※土木構造物との関連で特記すべきもの
－
- ・環境被害
－

■復旧状況

- ・復旧の考え方
発電設備については応急復旧後、原形復旧。
排水設備・道路についても応急復旧後、原形復旧。
- ・復旧設備、復旧方法、時期
－
- ・発電所の稼働状況(あるいは運転開始時期予想)
全号機復旧完了

■今後への展開

- (今回の地震の教訓として、今後の発電所計画に活かすことができる、あるいは、活かすべきとお考えの意見、課題、知見等)
- ・土木設備重要度区分の設定
 - ・液状化未対策部分への簡易対策方法の検討
 - ・地下埋設物の浮き上がり防止

被害および復旧の状況

設備名称	被害時の状況	復旧後の状況	備考
<p>第1排水 処理装置 (凝集・混合層)</p>			<p>(状況) 液状化による傾斜極大</p> <p>(復旧) 鋼製水槽構築</p>
<p>1号起動変圧器 防油堤</p>			<p>(状況) 液状化・陥没に伴う堤損壊</p> <p>(復旧) 防油堤再構築</p>

被害および復旧の状況

設備名称	被害時の状況	復旧後の状況	備考
<p>No.1, 2重油 タンク防油堤</p>			<p>(状況) 液状化による転倒, 目地開き 油分離槽向けバルブ損壊</p> <p>(復旧) 防油堤・油分離槽再構築 関連機器再設置</p>
<p>No.1, 2重油 タンク防油堤</p>			<p>(状況) 液状化による転倒, 目地開き</p> <p>(復旧) 防油堤再構築</p>

参考資料 6 水力発電所 参考写真

【八汐ダム調整池】

1. 被災直後



◆八汐ダム左岸ひび割れ状況



◆八汐ダム右岸ひび割れ状況

2. 補修状況



◆舗設施工状況全景



◆舗設施工状況



◆表面保護層施工状況全景



◆表面保護層施工状況

3. 補修後



左岸側 施工完了状況



右岸側 施工完了状況

【沼原ダム調整池】

1. 被災前



◆沼原ダム全景

2. 被災直後



◆被災直後の調整池全景 (H23年3月12日)

3. 被災状況



◆クラック発生状況 (補修前)



◆クラック詳細 (補修前)

4. 補修方法



◆クラック頭部のはつり状況



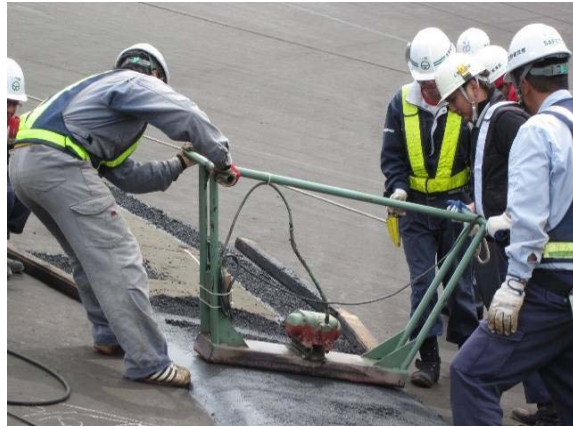
◆開削部ゴム化アスファルト充填



◆クラック防止シートの設置



◆アスファルト舗設準備



◆アスファルト舗設（人力転圧）



◆オーバーレイ完了



◆表面保護層塗布



◆表面保護層塗布後

5. 補修後



◆補修完了

【沼の倉発電所開水路】

1. 被災後状況

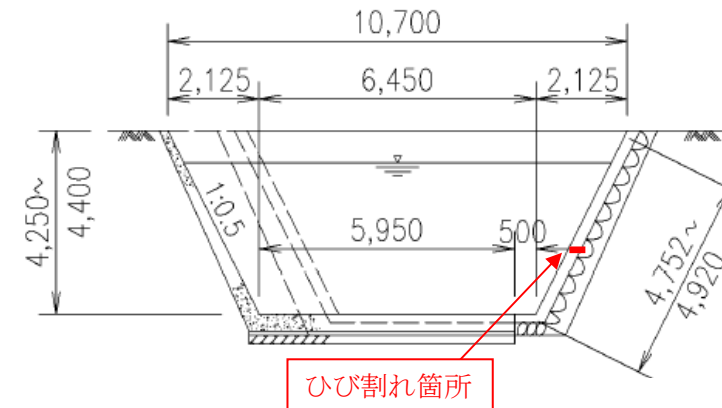


◆側壁が水路内側へ倒れ込んだことにより発生した圧縮ひび割れ



◆側壁が水路外側へ倒れ込んだことにより発生した曲げ引っ張りひび割れ（幅2cm）

開水路断面図



開水路背面の盛土の沈下、土圧の作用により、開水路側壁が水路内側や外側へ倒れ込み、側壁中段部に圧縮性・引張性のひび割れが発生

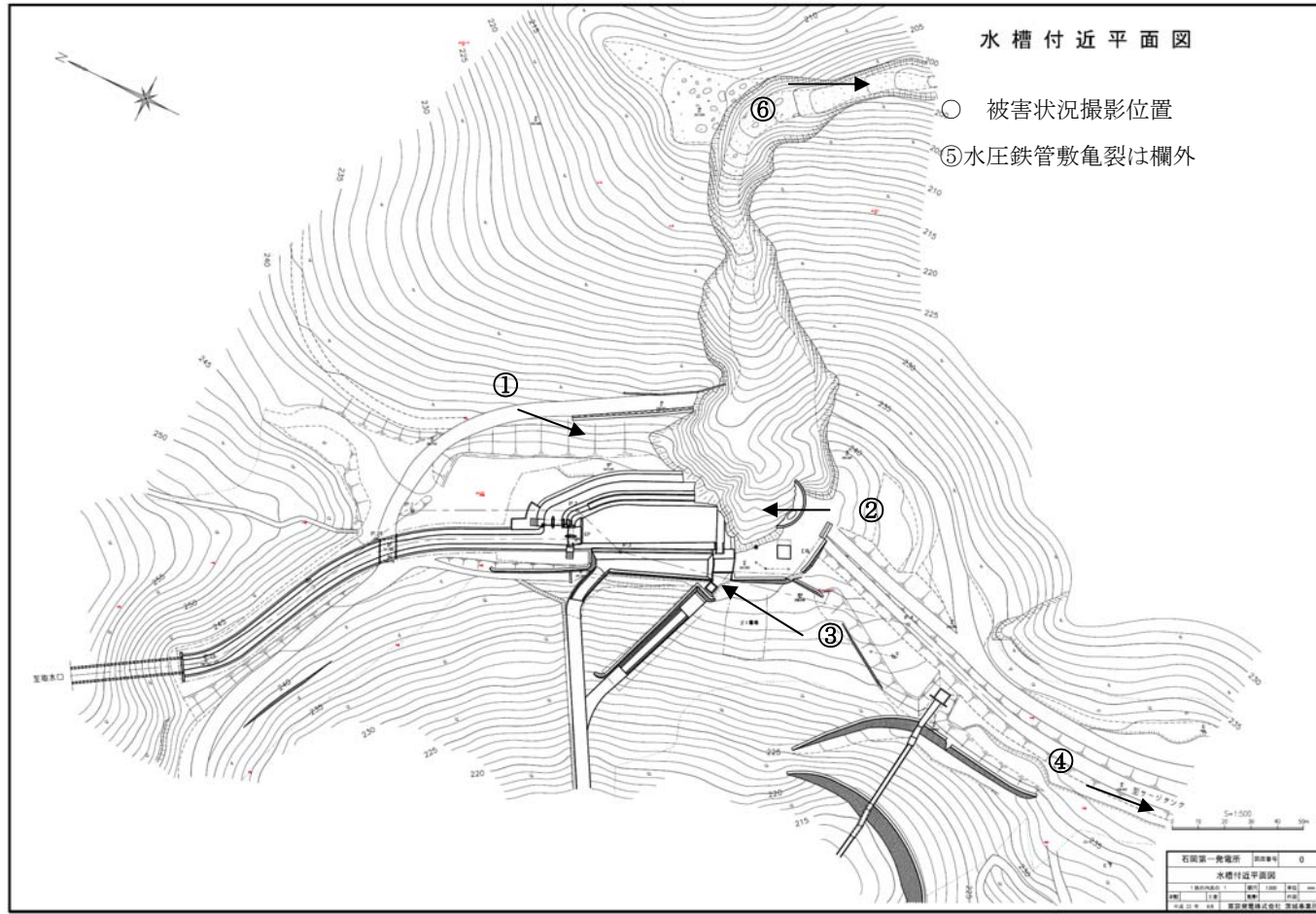
2. 補修状況



開水路側壁を固定するためのロックボルトを打設し、平成23年6月26日運転再開

【東京発電㈱ 石岡第一発電所被害状況】

出展：第94回 中小水力発電技術に関する実務研修会 平成24年2月
財団法人新エネルギー財団水力本部



石岡第一発電所水槽付近被害状況図

①水槽状況（上流より）



②水槽状況（下流より）



③水槽石積崩壊



④サイフォン管盛土割れ



⑤水圧管路敷亀裂



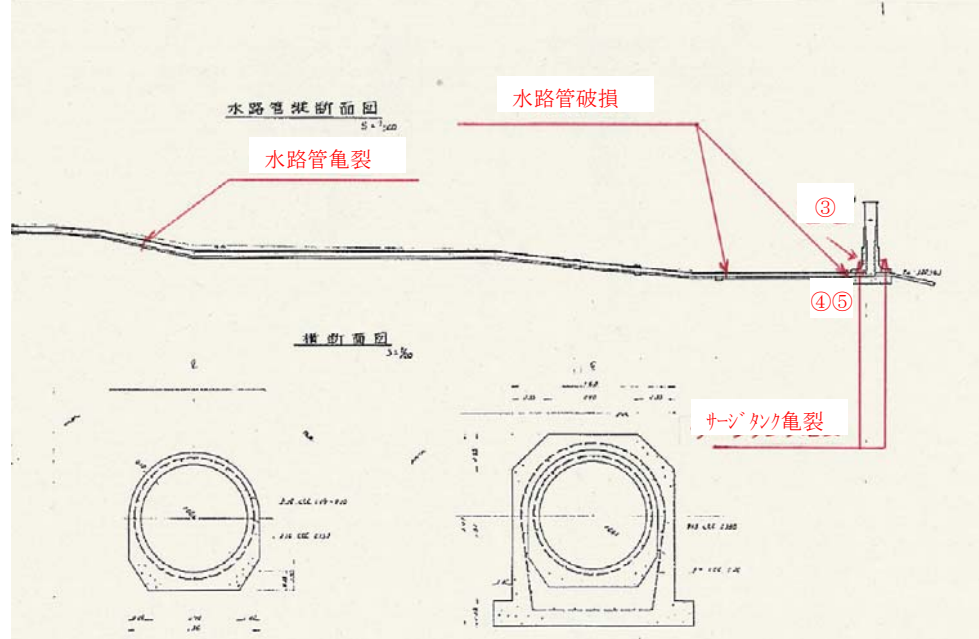
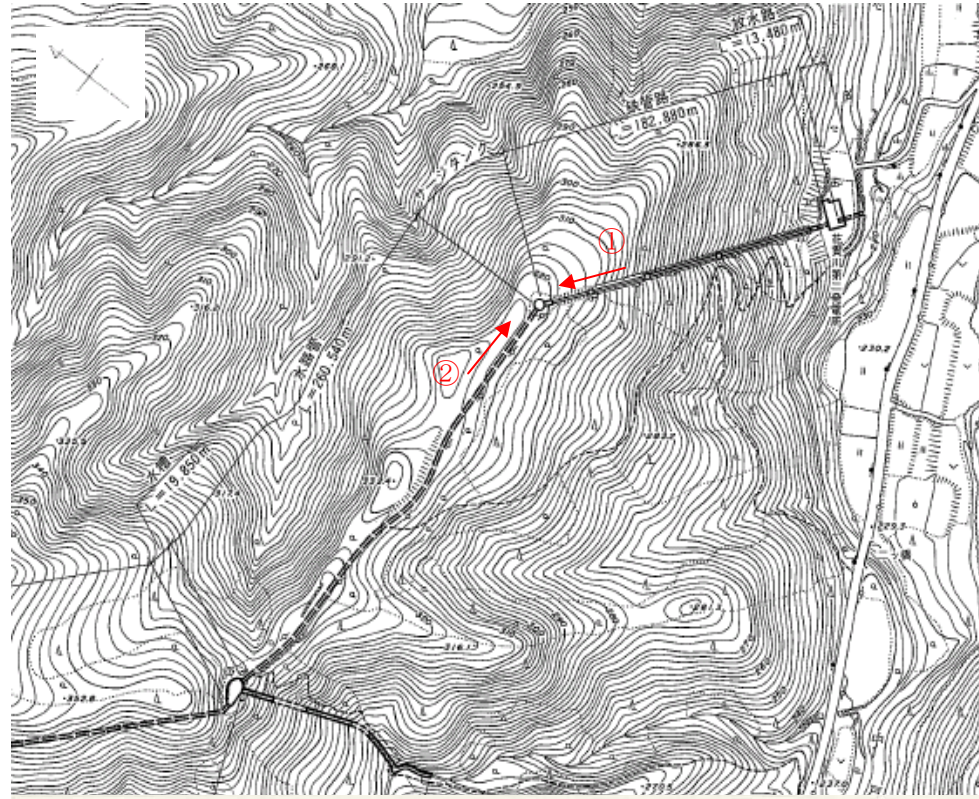
⑥山林土砂崩落



石岡第一発電所水槽付近崩壊状況

【東京発電㈱ 花貫川第二発電所被害状況】

出展：第94回 中小水力発電技術に関する実務研修会 平成24年2月
財団法人新エネルギー財団水力本部



花貫川第二発電所サージタンク付近崩壊位置図

①水圧管路側から見たサージタンク



②水路管側から見たサージタンク
手前の水路管が破損し流出水が地山土砂を押し流した



③上記サージタンクの既存ヘアクラックが地震により開口し（推定）、通水時に漏水が発生



④地震時の水路管の破損



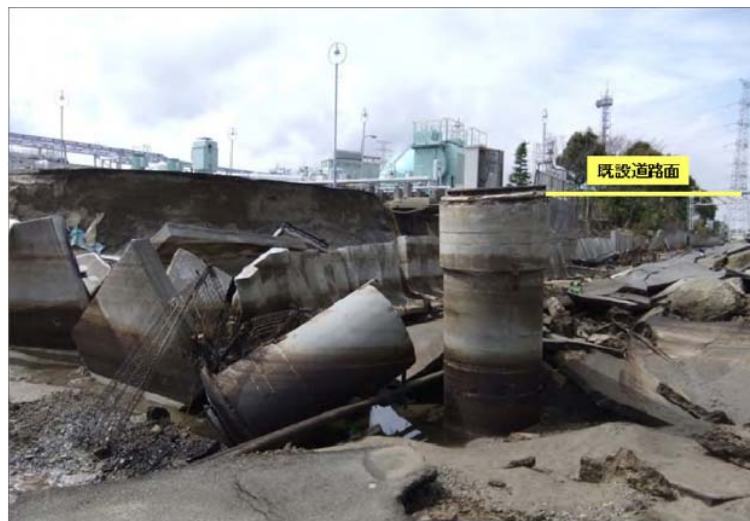
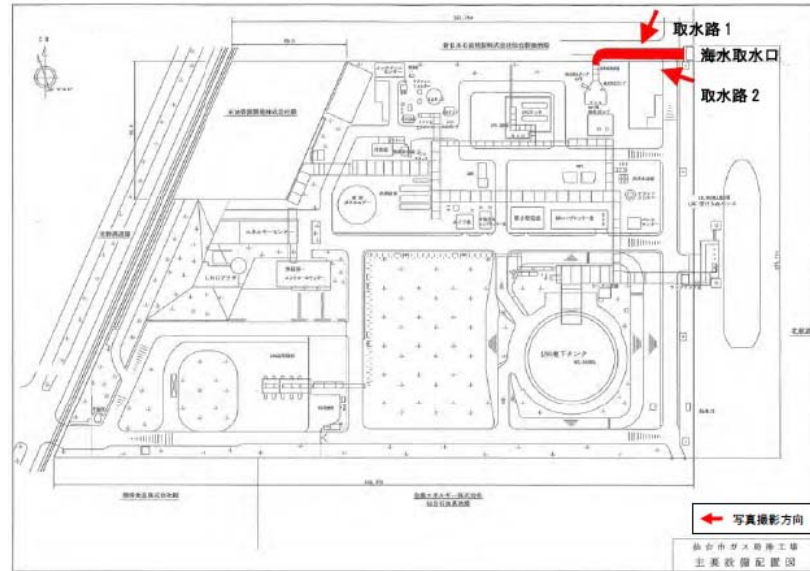
⑤左記水路管試掘後ハツった状況



花貫川第二発電所 被害状況写真

参考資料 7 ガス施設 被害状況写真

◎仙台市ガス局（取水路被災状況）



参考資料8

アスファルト表面遮水壁におけるひび割れ発生について

ダムは所要の耐震性能を保有しなくてはならず、地震時においても貯水機能が維持され制御できない貯水の流出を生じさせてはならない。アスファルト表面遮水壁型フィルダムは遮水層によって貯水機能が維持され、遮水層ひび割れ等からの漏水は遮水層背面の排水層によって堤体内監査廊へ導水される構造となっている。監査廊へ導水された漏水は、その後、堤体外部へ安全に排水される設計である。

今回、東北地方太平洋沖地震によってアスファルト表面遮水壁型ダムについては、八汐ダム、沼原ダムにおいて、表面遮水壁にひび割れ（クラック）が生じ、遮水壁からの漏水量が増加したが、ダムの残留変位は小さく、堤体の安定性に問題はなかったものと評価されている。また同時に、八汐地点、沼原地点ともに、表面遮水壁にひび割れが発生しても、漏水は設計どおり排水層を経由して堤体外へ排水されており、堤体本体への漏水の影響はなかった。さらに、遮水壁は調査から補修工事まで含めて約3ヶ月と、ごく短期間で補修が行えた。このことから、損傷箇所の特定や補修が表面で容易に行うことができるという同型式ダムの利点が最大限に発揮されたものと言える。

東北地方太平洋沖地震によって生じた遮水壁ひび割れ発生に対する考察等は以下の通り。

(1) 沼原地点：

別添1「平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震による沼原ダムへの影響およびその後の対策について」参照

○解析結果概要

- 東北地方太平洋沖地震における同ダムの地震時挙動の解析を実施した結果、解析による最大主ひずみの発生位置・方向と実際のひび割れ（クラック）の発生位置・方向が概ね整合した。解析結果の最大ひずみ量は $0.8\sim 0.9 \times 10^{-3}$ オーダー程度であり、アスファルト混合物の破壊ひずみ量 ($0.7\sim 1.0 \times 10^{-3}$ オーダー：九電大瀬内地点での材料試験結果（曲げ試験； $-15^{\circ}\text{C}\sim +10^{\circ}\text{C}$ ）のうち -10°C データ※）と同等もしくは超えるレベルであったことが判った。

※（補足）

アスファルト混合物は温度依存性が高いことに留意する必要がある。例えば、ここで照査に用いた破壊ひずみについては、沼原地点当日の気温 -10°C 相当の数値を採用しているが、これが仮に 0°C 相当となると値は2~5倍程度に大きくなり、逆に -15°C 相当とすれば2/3程度に小さくなるなど、温度により数値が大きく変動する。

- 実際に観測されたひび割れ発生位置については、切土・盛土境界部分近傍と上部工目地付近となっている。なお、切土・盛土境界部分近傍で発生したひび割れと、上部工目地付近で発生したひび割れが一部連結している。
- 解析によるひずみが破壊ひずみを超えた部分（切土・盛土境界部分）で、ひび割れが発生していることを確認できた一方、破壊ひずみを超えていない部分（上部工目

地付近)にも、ひび割れは発生しており、八汐地点の検討結果と併せて考えると、上部工の目地部分等、応力が集中する箇所については、ひび割れ発生の始点となる可能性が示唆された。

○排水機能と補修効果について

- 地震発生直後の、ダム湖貯水の間排水層からの透水量の観測によれば、中間排水層が充分機能していることが伺える。また、ひび割れ補修後の観測では、この透水量がほとんどゼロになっていることから、補修により表面遮水壁の遮水機能は従前と同程度まで回復し、それを維持できているものと考えられる。

○その他特記事項

- アスファルト表面遮水壁型ダムについては、(ジョイント部を加熱・締固め等により処理することにより)構造上遮水壁は連続体挙動となることから、特に寒冷時には大きな温度応力(引張)を受けていることが確認された。これは換言すればクラック等の損傷により遮水壁の力学的連続性が失われた場合には、温度条件次第ではかなりの開口が生じ、結果として多量の漏水に繋がる可能性があり、安全な排水機能の確保が極めて重要であることを示唆する。
- 沼原ダム南側断面に設置された観測記録を用いて求めた上下流方向の伝達関数(天端/監査廊)では、1.5~1.8Hz(周期 0.55~0.66 秒)付近にいくつかのピークが認められ、これが1次固有振動数に相当するものと考えられる。仮に、沼原ダムの1次固有周期を0.55秒として加速度応答スペクトルの0.55秒以上の周期帯を見ると、国交省指針案で示されている照査用下限加速度応答スペクトルを下回っており、東北地方太平洋沖地震の際、沼原ダムでは特筆すべき長周期成分は観測されていないと評価できる。

(2)八汐地点:

別添 2 「アスファルト表面遮水壁型フィルダムの地震時挙動ならびに補強工」 参照

○表面遮水壁ひび割れ・対策概要

- 東北地方太平洋沖地震における同ダム地震時挙動の解析を実施している。解析による遮水壁最大ひずみ(引張)は約 1.8×10^{-4} であり、降伏ひずみ (2.3×10^{-3}) と比較すると十分に小さい値であるが、実際には遮水壁にひび割れが発生した。
- 遮水壁に発生したひび割れは、堤体天端付近より下方へ伸展する性状であり、天端コンクリートブロックのジョイント開口に伴うひずみ集中がひび割れ発生のきっかけと推察される。
- 地震後、排水層を経由する漏水を検知したことによって、ひび割れの早期発見が可能であった。地震後、ひび割れは、アスファルト含浸不織布シート貼り付けやアスファルト遮水壁の切削、オーバーレイによって補修されている。

(3)参考 (他地点計画):

別添 3 「アスファルト表面遮水壁の諸元および力学性状等の比較」 参照

- 八汐地点以降に建設されたアスファルト遮水壁型フィルダム(大瀬内地点、京極地点)では、設計段階の解析によって遮水壁最大ひずみを算定し、発生ひずみが試験等から定まる破壊ひずみもしくは降伏ひずみを超えないことを確認している。
- 設計段階の解析入力地震動は地点特性を踏まえ 170~220gal 程度で設定されてお

り、その他水位条件、堤体構造を考慮してひずみを算定している。設計時解析による最大ひずみは、概ね $0.3\sim 0.8\times 10^{-3}$ オーダーとされている。破壊もしくは降伏ひずみは、温度とひずみ速度により異なるが、概ね $0.6\sim 1.0\times 10^{-3}$ オーダーであり、各地点とも、解析最大ひずみが破壊もしくは降伏ひずみを超えないことを確認している。

(4)まとめ

- 天端部等ひずみが集中する箇所が存在する場合は、同様にひび割れが生じる可能性があると考えられるものの、八汐地点、沼原地点ともに、表面遮水壁にひび割れが発生しても、漏水は設計どおり排水層を経由して堤体外へ排水されており、堤体本体への影響はなかった。
- ダム管理計測項目の一つである漏水量の増加を確認することによって、早期に遮水壁ひび割れを検知することができた。
- 表面遮水壁にひび割れが発生しても、表面から補修しやすいという構造的な特徴、アスファルト材の材料的な補修の容易さ等のアスファルト遮水壁型フィルダムの利点が発揮され、短期間で補修が可能であった。
- 上記を総合的に勘案すれば、今回の地震時に、各ダムにおいて貯水機能は維持され制御できていたと評価することができる。
- なお、ここで観測されたひび割れについては、ハード対策（応力集中部の縁切りや、変形追従性に富んだ材料を使用することによりひび割れ伝播の回避など）によるひび割れの事前回避、あるいはソフト対策（検知された漏水量による貯水池水位低下手順等の事前確認）による初期漏水への適切な対応等を、地点特性を踏まえ必要に応じ措置することにより対応可能と考えられる。

以 上



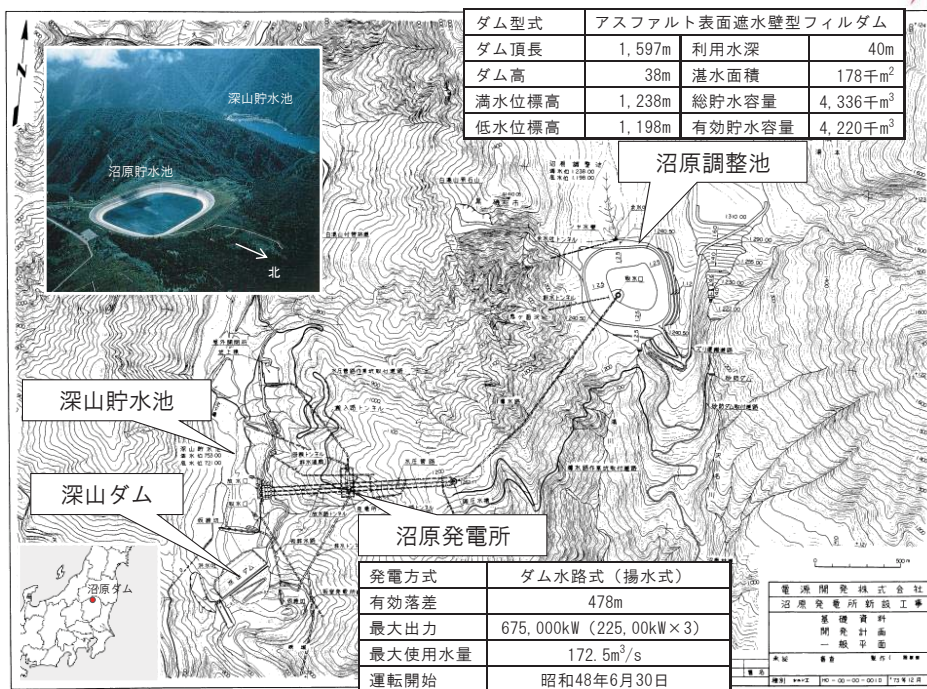
平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震による 沼原ダムへの影響およびその後の対応について

平成26年2月

電源開発株式会社

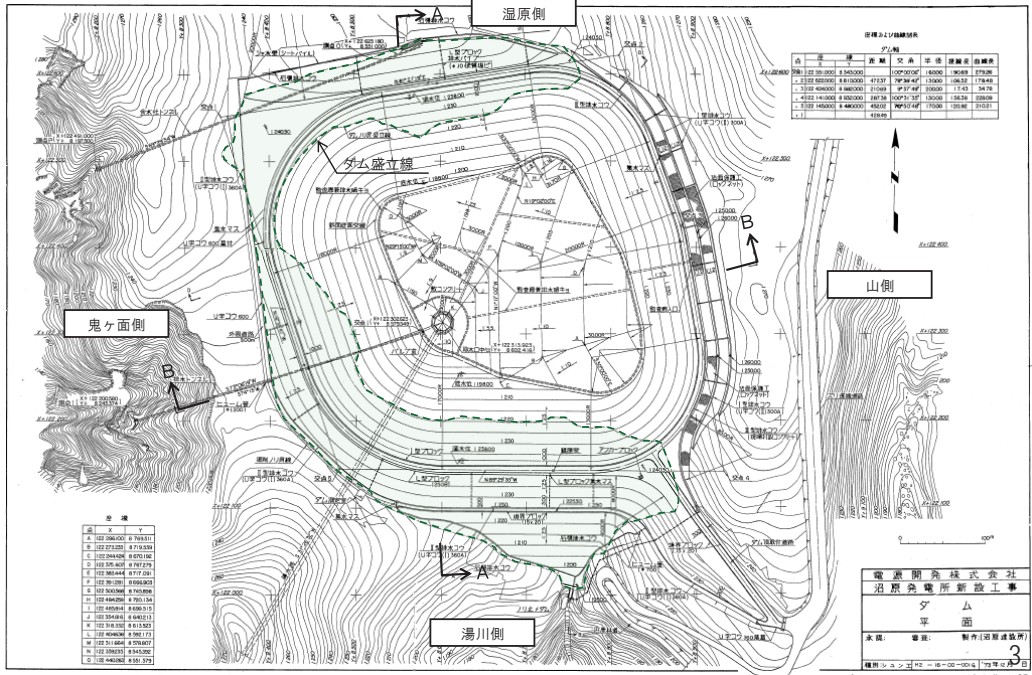
1

1. 沼原ダムの概要 (ダムの位置・諸元)

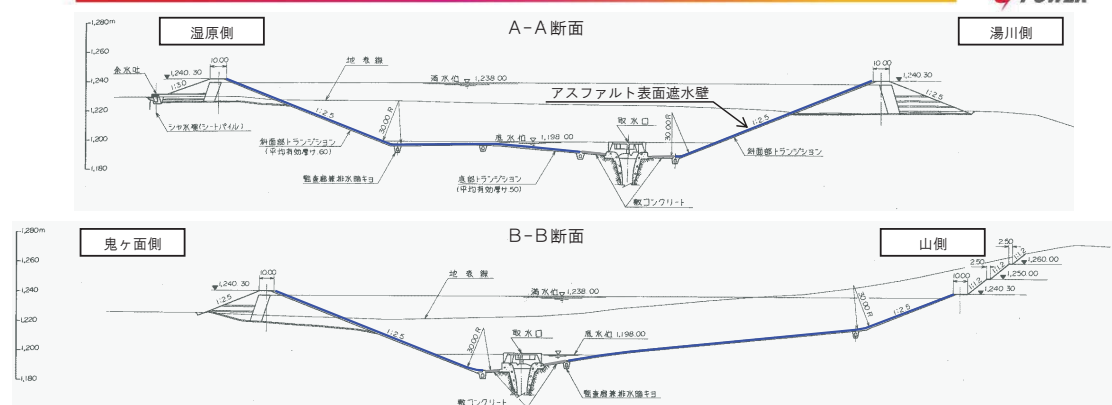


2

1. 沼原ダムの概要 (ダム平面)

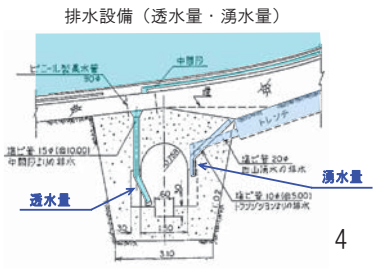


1. 沼原ダムの概要 (基本断面・表面遮水壁の構造)



アスファルト表面遮水壁の構造 (斜面部勾配1:2.5)

模式図	名称	設計	厚 (cm)	材料
	表面保護層	上層の劣化防止、水密性増強	0.2	アスファルトマスチック
	(補強層)	構造上・施工上の弱点に設置	4.0	4.0%密粒度アスコン
	最上層・上層	遮水 (最重要層)	10.0 (5.0×2)	8.5%密粒度アスコン
	中間層	排水層、ダム安全性確認	8.0	4.0%開粒度アスコン
	下層	上層破壊時の遮水が目的	4.0	8.5%密粒度アスコン
	レベリング層	平坦面を得るための不陸調整	4.0	5.5%粗粒度アスコン
	マカダム層	遮水壁とダム・地盤の一体化	4.0	3.5%7&77トマカダム
	トランジション	変形抵抗、排水、凍結防止	60.0	破碎河床砂礫80mm以下

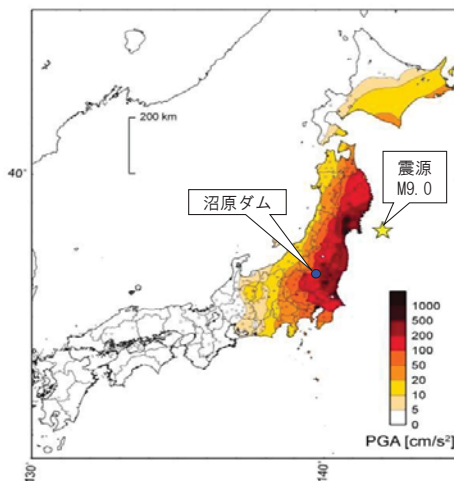


2. 地震によるダムへの影響（地震時のダム概況）



震源との位置関係

- ・ダム位置：栃木県那須塩原市
- ・震源からの距離：約280km



(東京大学地震研究所資料より)

地震時のダムの概況

- ・ダム水位：34.46m (満水位40.00m)
- ・発電状態：発電停止中
- ・透水量：0ℓ/min (ダムからの透水なし)
- ・湧水量：2ℓ/min (わずかな湧水)
- ・ダム湖面は雪水に覆われた状態

地震翌日のダムの状況写真



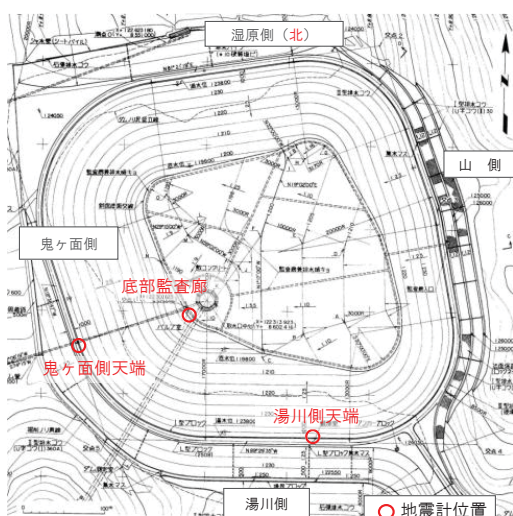
(2011年3月12日10時撮影)

5

2. 地震によるダムへの影響（地震観測記録）



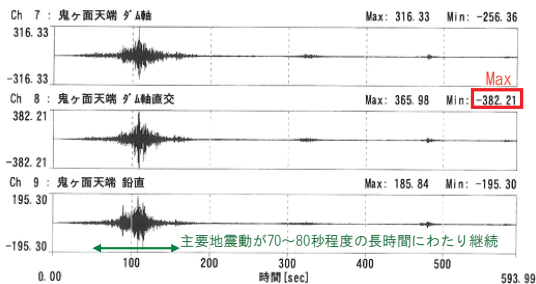
地震計位置



地震観測記録（最大加速度）

地震計位置	湯川側			鬼ヶ面側		
	ダム軸方向	ダム直交方向	鉛直方向	ダム軸方向	ダム直交方向	鉛直方向
底部監査廊	134.7 gal	209.9 gal	97.2 gal	---	---	---
湯川側天端	315.9 gal	347.1 gal	167.7 gal	---	---	---
鬼ヶ面側天端	---	---	---	316.3 gal	382.2 gal	195.3 gal

地震波形記録（鬼ヶ面天端）



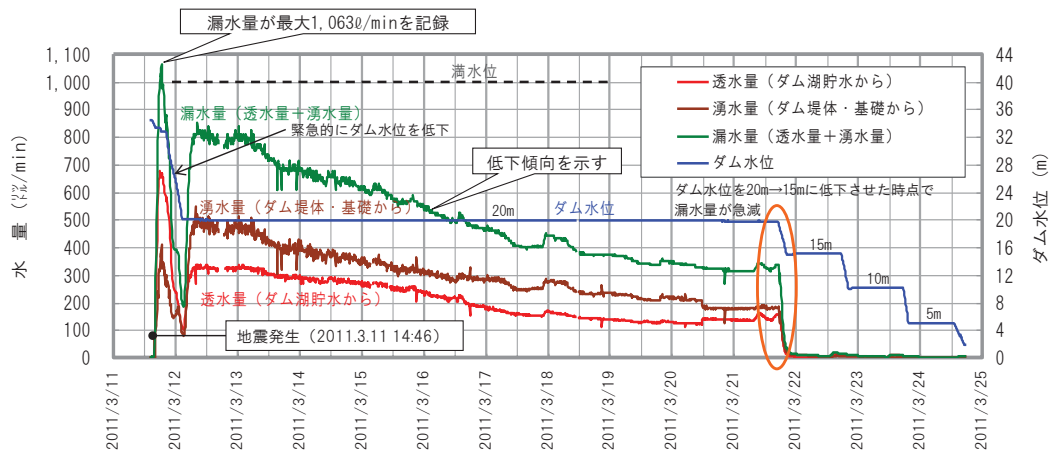
ダムの応答倍率（天端加速度／基礎部加速度）は、沼原ダムの過去の観測記録や他フィルダムの傾向と概ね整合する。

6

2. 地震によるダムへの影響（漏水量の状況）



ダムの漏水量（透水量+湧水量）の変化



- ・地震発生時(直前)は20/minであった漏水量(透水量=0/min、湧水量=20/min)が、地震後3時間程度で最大1,063%/minまで増加した。
- ・漏水量増加に対して、緊急的にダム水位を34.46mから中間水位の20mまで低下させた。
- ・この措置により漏水量はいったん減少したが、再び増加し、その後は低下傾向を示した。
- ・地震発生から10日後の3月21日にダム水位を15mに低下させた時点で、漏水量はほぼゼロになった。
- ・さらに3日間かけてダム水位を低下させ、完全に抜水した。

7

2. 地震によるダムへの影響（ダム天端変位量の状況）

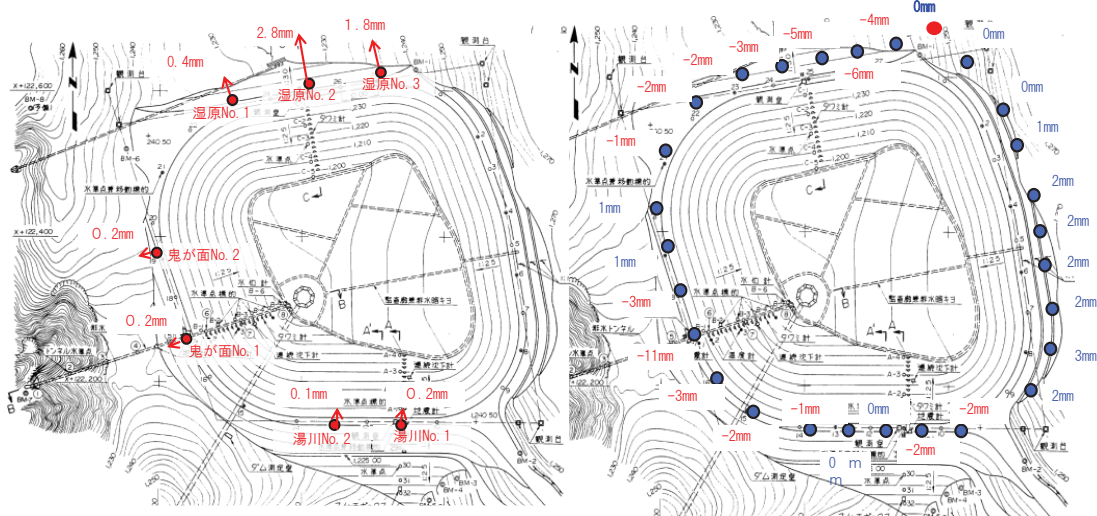


ダム天端変位量（ダム軸直交方向）

（平成22年11月17日と平成23年4月4日の比較）

ダム天端変位量（鉛直方向）

（平成22年11月17日と平成23年4月4日の比較）



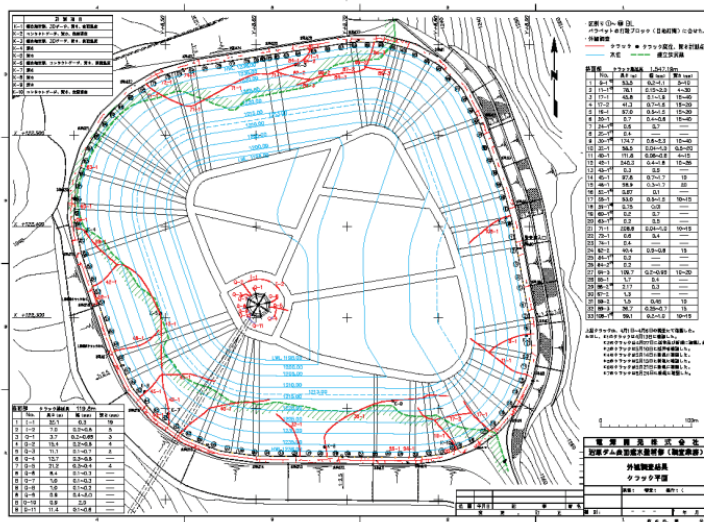
過去の変位量と比較して、今回の変位量は突出しておらず、地震によりダム堤体に異常は無かったと考える。

8

2. 地震によるダムへの影響（表面遮水壁のクラック発生状況）



アスファルト表面遮水壁におけるクラック発生状況



- ・地震により、アスファルト表面遮水壁に総延長1,547mのクラックが生じた（赤線）。
- ・クラックは切土・盛土境界（緑線）に沿って多く発生している。
- ・クラックには段差や横ズレは認められない。
- ・クラック幅は温度によって変化するが、低温時でも最大2mm以下である。

9

2. 地震によるダムへの影響（表面遮水壁のクラック発生状況）



アスファルト表面遮水壁におけるクラック発生状況



（湯川側、3月21日）



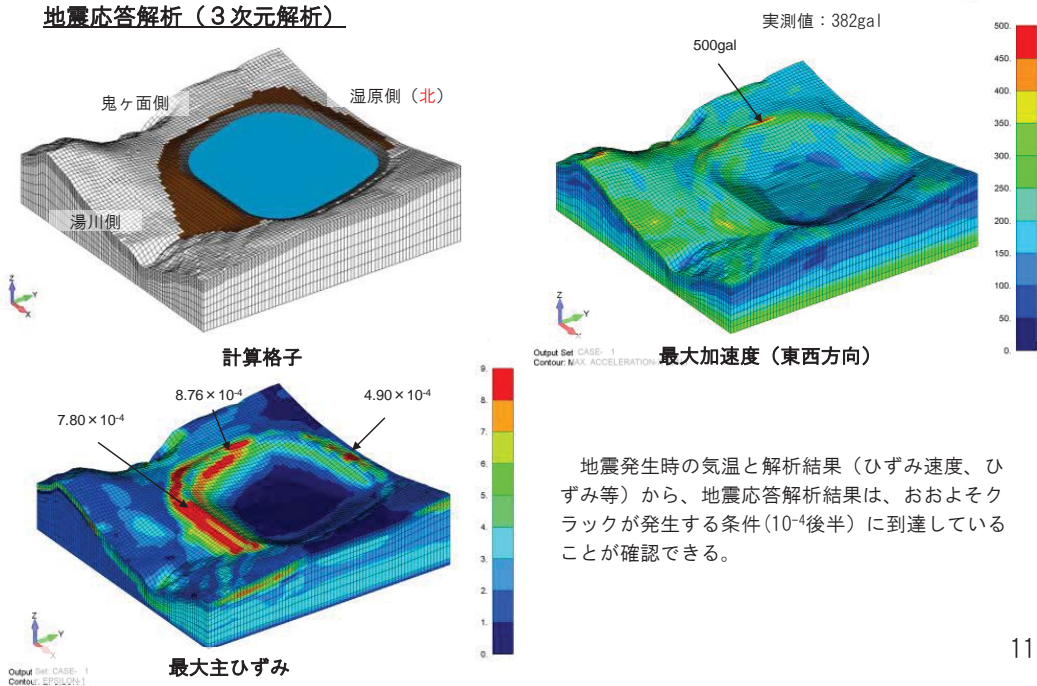
（湿原側、3月21日）

10

2. 地震によるダムへの影響（地震応答解析によるクラック発生を検証）



地震応答解析（3次元解析）

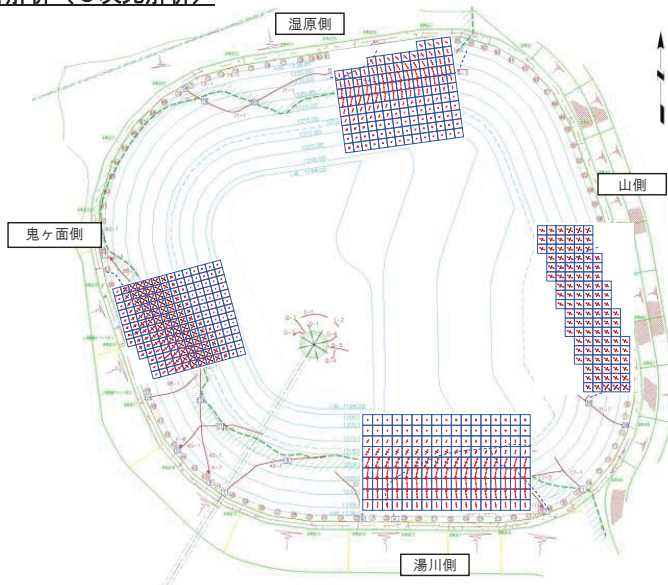


11

2. 地震によるダムへの影響（地震応答解析によるクラック発生を検証）



地震応答解析（3次元解析）



解析の結果、各斜面における、最大主ひずみ分布（赤矢印）は、ほぼ切土・盛土境界に沿って発生しており、実際のクラック発生個所とも整合がとれている。

12

3. 遮水壁に発生したクラックの補修（補修方法の検討）



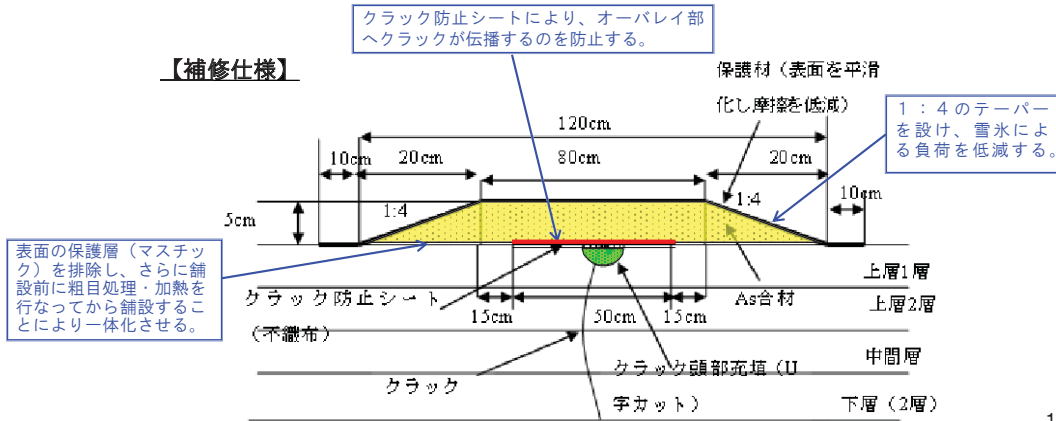
【補修方針】

- 逼迫した需給状況を勘案し、一刻も早い復旧を目指す。
- 発電再開時期としては、夏場ピークを目標とし、それに間に合うような復旧を今回の補修工事内容とする。
- 複数年にわたり、所要の性能（強度、遮水性等）を確保できる耐久性のある構造とする。

【要求性能】

- 水圧の変動に耐えられること。（水圧の変動幅は、0～0.25MPa）
- 温度変化（-13℃～+50℃程度）による補修部周辺の変位に対応できること。
- 高温時の補修材料自体の変形が遮水機能の消失に繋がらないこと。
- 冬期の凍結による表面の氷の上下による摩擦および雪氷の滑落で補修部が破壊しないこと。
- 湧水により発生する背圧に耐えられる構造であること。（背圧の変動幅は、最大0.40MPa程度と考えられる）

【補修仕様】



13

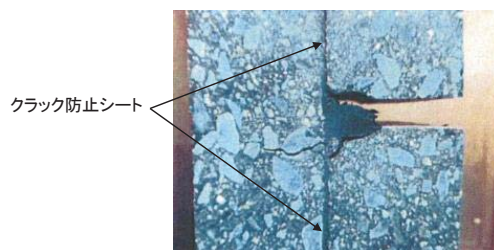
3. 遮水壁に発生したクラックの補修（補修方法の検討）



確認試験

- ・補修方法の妥当性を確認するために、試験施工及び室内試験を実施した。
- ・試験施工により、新設アスファルトの密度・透水性・付着強度、並びに施工性を確認した。
→所定の強度等を満足、施工性に問題なし。
- ・室内試験により、クラック防止シートの効果確認を行った。
→クラック防止シートの効果により、開口幅が7mm程度まではオーバーレイ部にクラックは発生しないことを確認した。

試験施工におけるコア採取状況



クラック防止シート効果確認試験（左側がオーバーレイ、右側が亀裂部を模擬）
→ 降伏時変位は約7mm（シート無しの場合は降伏時変位は約0.8mm）

14

3. 遮水壁に発生したクラックの補修（補修工事）



補修工事の状況



①クラック開削（U字カット）

保護層除去跡



②クラック充填（ゴム化アスファルト）



③シート敷設（特殊アスファルト＋不織布）



④アスファルト舗設準備



クラックストップ

15

3. 遮水壁に発生したクラックの補修（補修工事）



補修工事の状況



⑤アスファルト舗設（人力転圧）



⑥舗設完了



⑦表面保護材塗布（アスファルト乳剤）



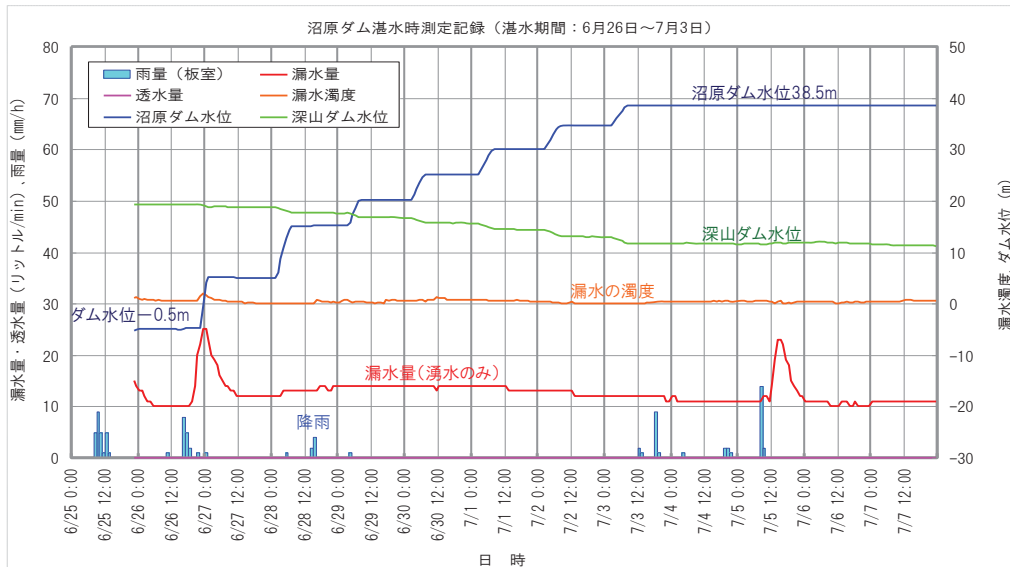
⑧表面保護材塗布完了（三層塗）→復旧完了

16

4. 補修後のモニタリング（湛水結果）



補修後の湛水



- ・湛水は、透水量をモニタリングしながら、9日間かけて段階的（標準5m毎）にダム水位を上げた。
- ・湛水に伴う透水量の増加は無かった。→ 7月17日に通常運用を再開した。

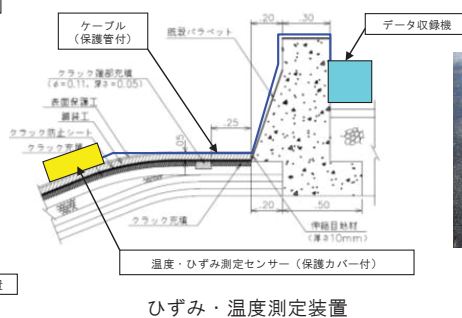
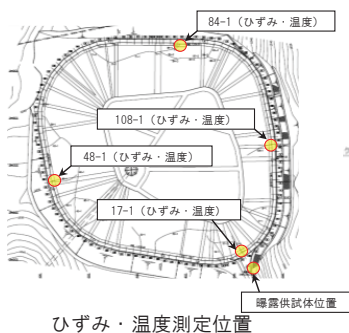
17

4. 補修後のモニタリング



補修後のモニタリング

項目	内容	備考
変位置	通常のダム管理の中で実施	GPSも併用（特に冬期）
漏水量	〃	
補修箇所外観調査	目視により補修箇所を確認	水位低下時に実施
表面遮水壁温度	温度計を設置して計測	位置は下図
表面遮水壁ひずみ	ひずみ計を設置して計測	〃
補修材料曝露試験	現地曝露した供試体で試験実施	曲げ、透水、引張試験を実施



測定状況（10月初旬から）

18

4. 補修後のモニタリング



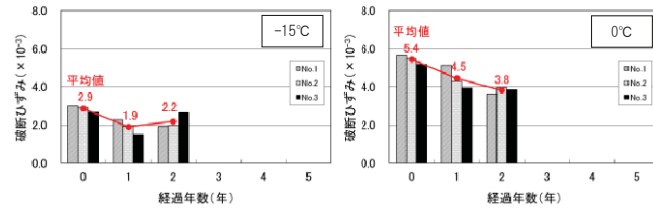
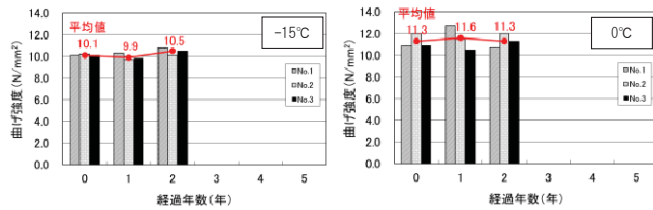
曝露供試体の試験結果（2年目まで）



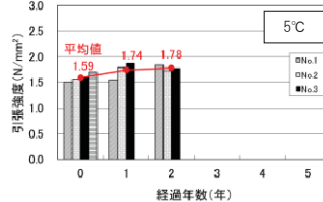
供試体の曝露状況

- ・ 曲げ強度・引張強度は経年変化(劣化)なし。
- ・ 透水試験は透水量ゼロで、初期、1年目と同様。
- ・ 曲げ試験(0°C)における破断ひずみは低下傾向であるが、既往の試験結果によると、アスファルトは曝露開始～1,2年目の間は破壊ひずみが小さくなるがその後安定することが確認されている。アスファルト成分が舗設当初は風雨により流出することが原因と考えられ、現時点では問題ないものと判断する。

曲げ試験結果



引張試験結果



透水試験結果

(透水圧0.4MPaで透水量ゼロ)
(初期、1年目と同様)

5. 今後について



今後は、日常管理およびひずみ計測等により補修箇所で生じる挙動をモニターし、補修個所の健全性の監視を継続します。

地震発生から発電再開まで

	3月	4月	5月	6月	7月	8月～3月	平成24年度～	備考
地震	▼3/11東北地方太平洋沖地震							
調査		1次	2次	3次				
補修方法検討								
補修工事								
湛水					6/26～7/3			
発電運用					7/17夜に運用再開			
モニタリング								



補修完了後の沼原ダム (2011年6月24日)

ICOLD 第81回年次例会 口頭発表論文

アスファルト表面遮水壁型フィルダム地震時挙動ならびに補強工

塚田 智之*¹ 山本 浩志*²
 島田 祐樹*³ 内田 善久*⁴
 高澤 和典*⁵

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、アスファルト表面遮水壁型フィルダムである八汐ダムにおいて基盤で最大約50gal、天端で最大約250galの加速度が観測された。観測された地震加速度は設計段階で考慮していたレベルよりかなり小さな値であったものの、同地震の影響によってアスファルト表面遮水壁にひび割れが生じた。

本稿では、加速度記録の分析や三次元動的解析等によって地震時のダム挙動、ひび割れの発生メカニズムを考察した結果、ならびに損傷した表面遮水壁の補修、ひび割れ発生メカニズムを考慮して行った補強工の概要を報告する。

2. 八汐ダムについて

八汐ダムは高さ90.5mのアスファルト表面遮水壁型フィルダムであり、東京電力(株)塩原発電所の上部調整池用のダムとして建設された。ダムの標準断面、アスファルト表面遮水壁の構造は、それぞれ、図-1、図-2に示すとおりである。八汐ダムの表面遮水壁は上部遮水層(厚さ50mm×3層)、中間排水層(厚さ80mm)、下部遮水層(厚さ60mm)、レベリング・マカダム層(厚さ各40mm)の7層構造となっており、上部遮水層に損傷が生じた場合は中間排水層によって、浸透水を安全に監査廊へ導く構造となっている。

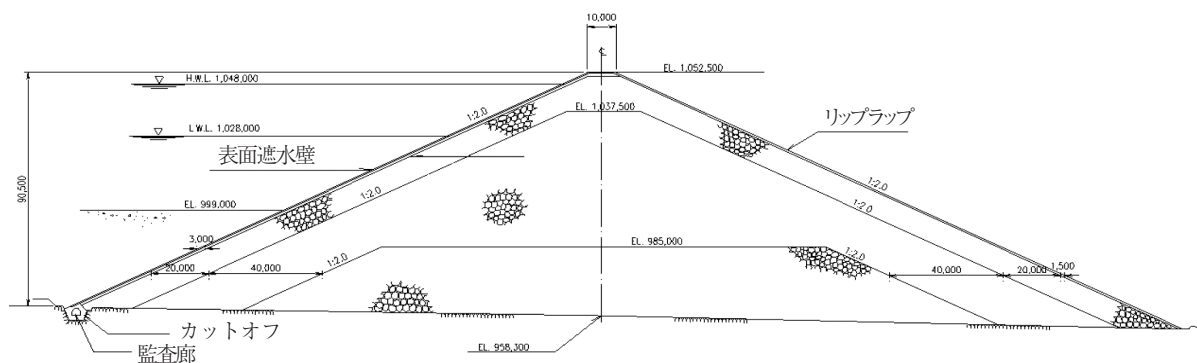


図-1 八汐ダム標準断面図

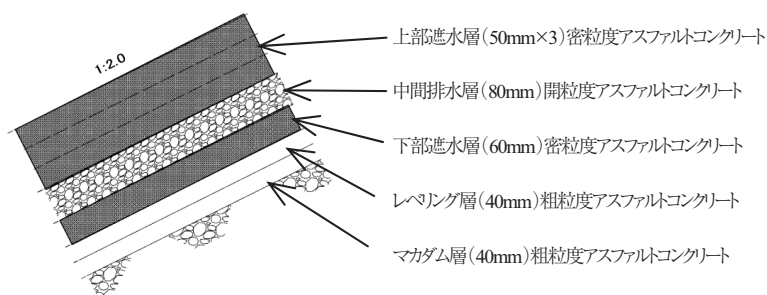


図-2 表面遮水壁構造図

*¹ 東京電力(株) 松本電力所 土木建築グループマネージャー
 *² 東京電力(株) 原子力・立地本部土木建築設備グループ 専任スタッフ
 *³ 東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター ダム技術グループ
 *⁴ 元 東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター スペシャリスト
 *⁵ 東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター ダム技術グループ ダムチームリーダー

3. 東北地方太平洋沖地震時における観測

(1) 観測加速度

東北地方太平洋沖地震の震源から八汐ダムまでの距離は約300kmであり、ダム近傍の気象庁観測地点では最大震度5強の強い揺れが観測された(那須塩原市蓼沼:ダムから約5kmに位置する)。

八汐ダムではダム基礎や堤体内外、右岸地山の計13箇所(3成分の加速度計を配置している。基盤ではダム軸方向に最大加速度53gal(上下流方向最大43gal, 鉛直方向最大45gal), 天端では上下流方向に最大加速度253gal(ダム軸方向最大185gal, 鉛直方向最大175gal)であった。堤体各部の最大加速度と計器の設置位置は表-1, 図-3に示すとおりである。

(2) 表面遮水壁のひび割れ損傷

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震直後から、八汐ダムではそれまで認められなかった中間排水層ドレーン流量の増加が確認された。その後、表面の目視や潜水土、水中カメラによる調査の結果、アスファルト表面遮水壁の左岸側に66.5m, 右岸側に78.2mの長さのひび割れを確認した(図-4)。

遮水壁補修時には、ひび割れの範囲、性状を確認する

表-1 八汐ダム 最大加速度 (H23.3.11)

計器		最大加速度 (gal)		
		上下流	ダム軸	鉛直
基礎	EA-2	43	53	45
天端	EA-10	174	157	105
	EA-11	253	185	175
	EA-12	252	104	156
	EA-13	66	66	43

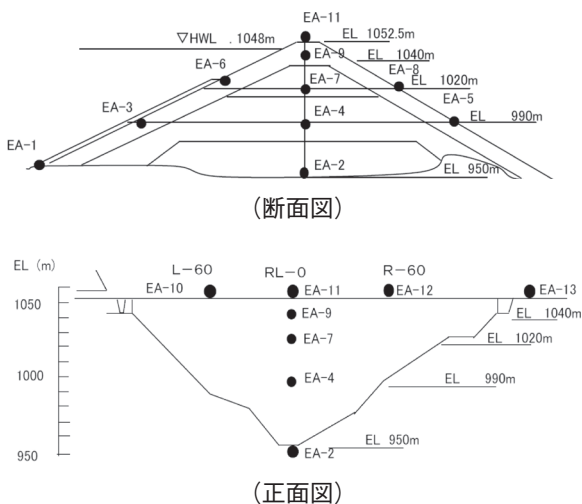


図-3 加速度計設置位置図

ための調査を行った。目視による調査には限界があるため、特に幅の狭いひび割れ先端部ではカッターにてVカットして切り出すなどの方法も併用し、詳細に調査した。ひび割れの天端付近においては、φ500mmのボーリングコアを採取した(図-4, 5)。このボーリングコアより、天端付近のひび割れはレベリング・マカダム層まで連続していることを確認した。

ひび割れの最下端部付近ではひび割れは表面のみで確認され、上部標高へ行くに従ってひび割れは深くなっていることが確認された。これらの調査結果より、ひび割れは天端付近から斜面下方へ、断面的には表面から深部へ進展した可能性が高いと推定した。

4. 設計段階における耐震性検討

(1) 遮水壁材料の配合・力学特性

八汐ダムの表面遮水壁の上部および下部遮水層に用いた密粒度アスファルトコンクリートの示方配合については、設計段階において変形追従性、斜面安定性を考慮しながら既往地点の実績も参考にして表-2に示すとおり定めた。また、密粒度アスファルトコンクリートの曲げ試験による降伏ひずみと温度、ひずみ速度との関係は図-6に示すとおりであり、温度が低いほど、また、ひずみ速度が大きいほど応力緩和が小さくなり、降伏ひずみ

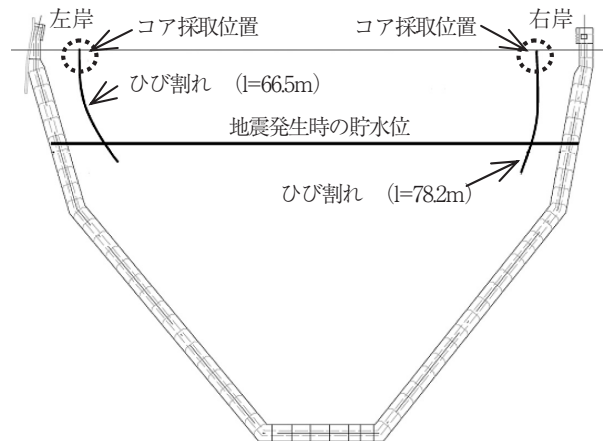


図-4 表面遮水壁のひび割れ位置

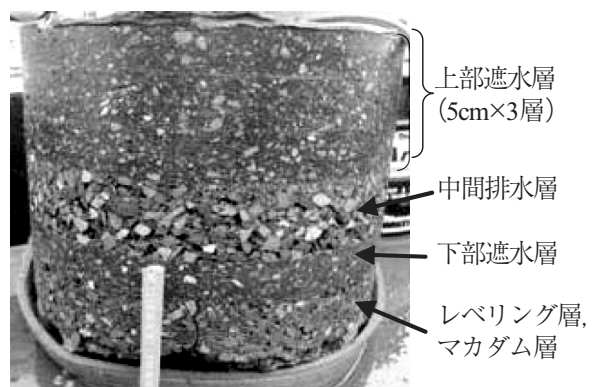


図-5 左岸採取コア写真

が小さく変形追従性が小さくなる性質を示す^{2),3)}。このことから、冬期における地震による変形が最も厳しい条件となる。湛水過程、地震時を想定した曲げ引張、せん断、圧縮降伏ひずみは表-3に示すとおりである。〔i〕湛水過程：水中部5℃、ひずみ速度は試験機の最低速度0.005mm/分、ii)地震時：水中部5℃と地点最低気温-15℃、ひずみ速度はおおむね 10^{-2} 1/sec〕

八汐ダムは建設後約20ヶ年経過しており、今回、天端付近で採取した試料よりアスファルトコンクリートの曲げ引張降伏ひずみを測定した。気温-5℃、ひずみ速度 1×10^{-2} 1/secの条件で平均値 2.3×10^{-3} を確認した。この値は配合設計時の試験値 2.9×10^{-3} (図-6)に対してやや小さいが、表層が $2.1 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ 、2層目が $2.0 \sim 2.5 \times 10^{-3}$ 、3層目 $2.3 \sim 2.4 \times 10^{-3}$ となっており、紫外線等による表層部の劣化傾向は顕著でない。

表-2 密粒度アスファルトコンクリートの配合

最大骨材寸法 (mm)	単位量 (kg/t)						
	アスファルト	骨材 (mm)				フィラー	
		砕石	砕砂	細砂	石粉	添加物	
13	85	166	267	276	83	115	8

表-3 密粒度アスファルトコンクリートの降伏ひずみ

試験温度	地震時		湛水時		
	降伏ひずみ ($\times 10^{-3}$)	ひずみ速度 (1/sec)	降伏ひずみ ($\times 10^{-3}$)	ひずみ速度 (1/sec)	
5℃	圧縮	21.0	8.0×10^{-3}	70.0	8.0×10^{-5}
	引張	10.0	1.0×10^{-2}	50.0	5.0×10^{-5}
	せん断	8.8	2.0×10^{-2}	130.0	2.0×10^{-4}
-15℃	圧縮	12.0	8.0×10^{-3}		
	引張	2.3	1.0×10^{-2}		
	せん断	28.0	2.0×10^{-2}		

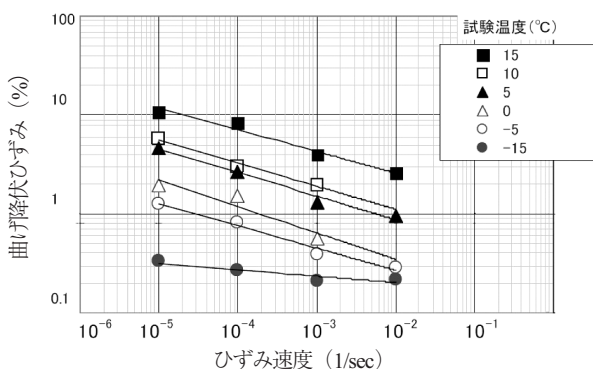


図-6 密粒度アスファルトコンクリートの降伏ひずみ

(2) 模型実験による確認

設計段階における検討・実験で使用した三次元模型は図-7に示すとおり。実験では上下流方向、ダム軸方向にそれぞれ加振した。上下流方向加振時の高速写真撮影による表面変位の分布、表面に施された特殊塗装(石膏1:珪藻土1:水1(重量比))による亀裂発生分布、別途実施した二次元FEM動的解析結果による表面ひずみ分布は、類似していることが確認できた(図-8(3))²⁾。

図-8(1)は上下流方向加振時に表面に生じたひび割れの分布を示したものであり、ひび割れはダム軸とほぼ平行な方向となっている。最初にひび割れが生じたのは天端より斜面長の1/5~1/4下がった位置であった。

ダム軸方向加振時にはダム軸とほぼ直角の方向(今回生じたひび割れと同様)に左右岸アバットから堤頂長の1/8程度中央寄りの位置にひび割れが生じることが確認されている(図-8(2))。なお、ダム軸方向加振時に最初のひび割れが生じる加速度は、上下流方向加振時にひび割れが生じる加速度より大きかった。

模型振動実験では上下流方向、ダム軸方向ともに模型の固有周期の正弦波を、加速度振幅はターゲット撮影時には実物換算で300gal一定、亀裂観察時には最大500galまで徐々に増加させた。

既往の模型実験結果を参照すると、東北地方太平洋沖地震によって発生したアスファルト表面遮水壁のひび割れは、ダム軸方向の変形によって発生した可能性が高い

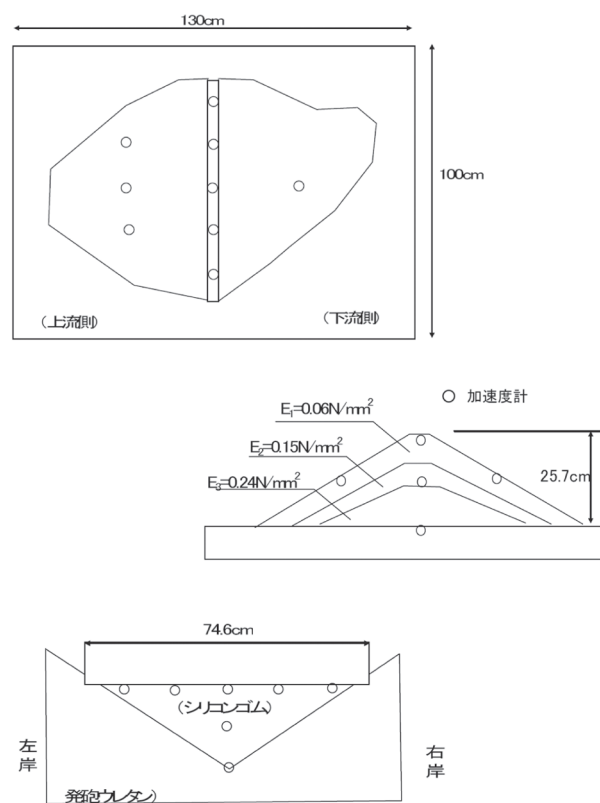


図-7 三次元模型の概要

と考えられるが、今回の地震によるダムの応答はダム軸方向が卓越したものではなかった。従って、ひび割れ発生メカニズムについては、詳細な検討が必要と判断した。

5. 東北地方太平洋沖地震時のダム挙動の検討

(1) 三次元 FEM 解析モデルによる評価

八汐ダムで観測された加速度記録に基づき、ダムの挙動を三次元 FEM 動的解析によって検証することとした。解析プログラムは等価線形化法による汎用ソフト「ISCEF」を使用した。

① 解析モデル

解析モデルは図-9に示すように周辺地山を含めてモ

デル化し、基礎岩盤は側方を堤体敷長さの3倍程度の領域とし、深さは基盤での観測記録を直接入力するため基礎中央加速度計設置標高 (EL.950m) より上部をモデル化した。なお、遮水壁はダム堤体と一体として挙動するとしてモデル化していない。

② 物性値

岩盤物性値は既往の試験値、堤体材料の非線形性は Hardin-Drnevich (H-D) モデルによって既往の試験結果、沢田の速度分布から設定した (表-3)^{2),3)}。

既往の微小地震観測記録より天端中央 (EA-11) と基礎中央 (EA-2) のフーリエスペクトルから伝達関数を求め、卓越周波数が合致することを確認して初期せん断剛性については既往の試験結果をそのまま適用した。なお、東北地方太平洋沖地震時の観測加速度に対して、解析結果の加速度が過大となったため、減衰特性については試験値の $h_{max} = 20\%$ に対して $h_{max} = 30\%$ へと変更した。初期応力は Duncan-Chang モデルによる築堤・湛水解析を行い算定した。

③ 解析結果

地震時応答解析は、主要動の前後80秒間を対象とした。天端各部の加速度時刻歴を確認すると、解析値は実測に対してやや大きめの値となっているものの、概ね整合性は良いと判断した。全時刻における加速度最大値の分布は図-10に示すとおりである。併せて、同図の右には堤体表面要素に発生するひずみの最大値の分布を示している。表面遮水壁が位置する堤体上流面要素では、天端中

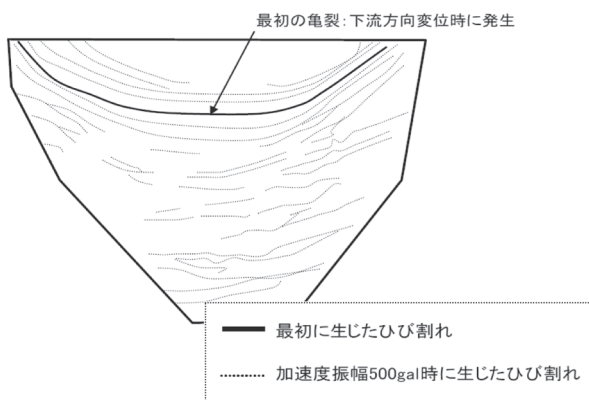


図-8(1) ひび割れ発生状況

(上下流方向加振時の模型実験の結果: 最大500gal)

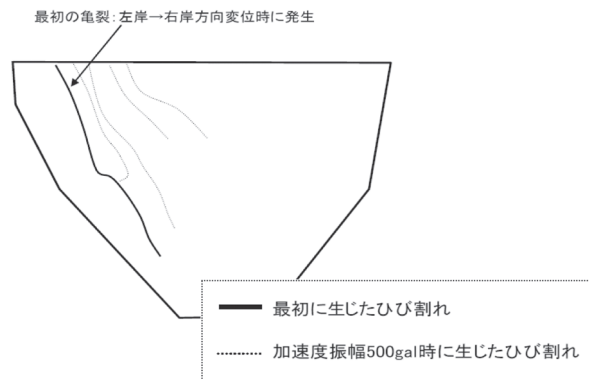


図-8(2) ひび割れ発生状況

(ダム軸加振時の模型実験の結果: 最大500gal)

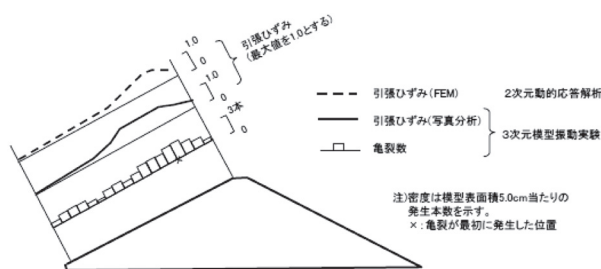


図-8(3) 模型実験と2次元 FEM 解析の比較

(上下流方向加振)

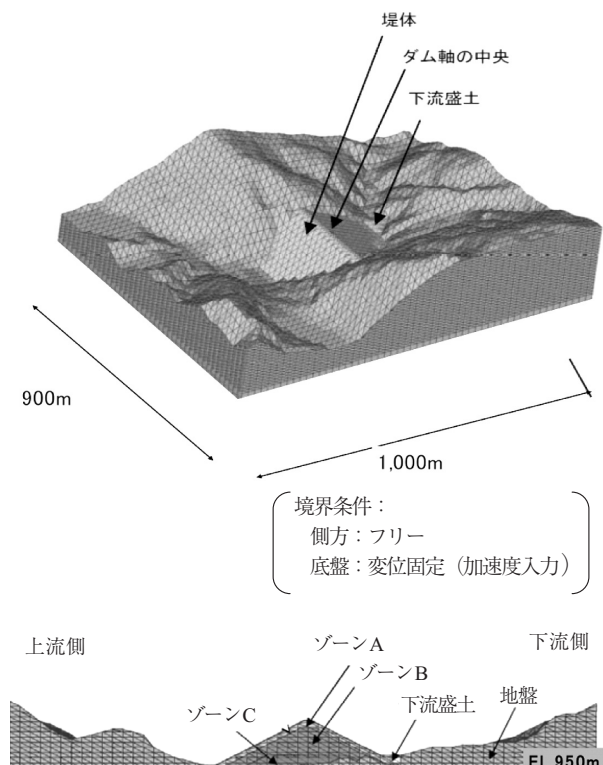


図-9 三次元解析モデル図

表-4 堤体材料の動的物性値

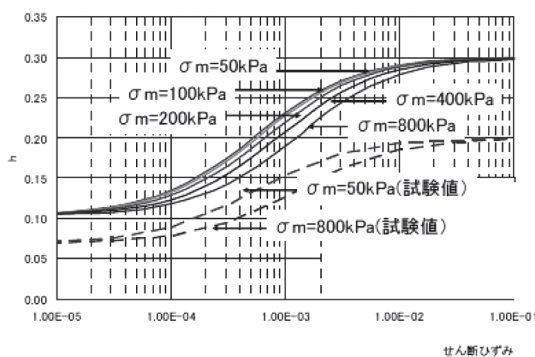
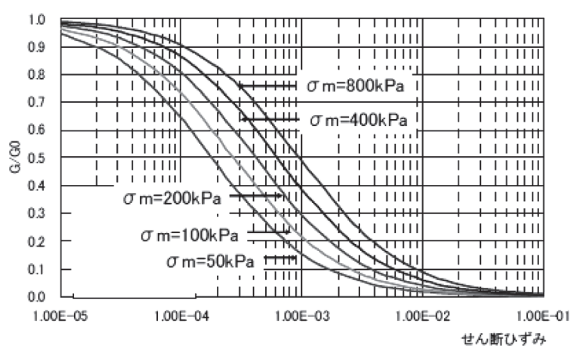
物性番号	ゾーン	密度 (ρ /cm ³)	せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断剛性率 G_0 (MN/m ²)	減衰率 h	ポアソン比 ν	非線形特性※2)			
							基準ひずみ	減衰率に関するパラメータ		
							h_{max}	a	b	
1	堤体 ゾーンA ゾーンB	2.13	$0 \leq Z \leq 5$ のとき*1) $V_s=245$	$G_0 = \rho V_s^2$	非線形性を 考慮した	$0.375-0.006$ $\times (Z)^{0.556}$ *1)	$2.0(1+\nu)\sigma_m^{0.90}$ $\times 10^{-4}$	0.3	$(7.06\sigma_m+36.4)$ $\times (1+\nu) \times 10^{-5}$	$(2.44\sigma_m+12.6)$ $\times (1+\nu) \times 10^{-5}$
			$5 \leq Z \leq 30$ のとき $V_s=250 \times Z^{0.200}$							
2	堤体 ゾーンC	2.02	$30 < Z$ のとき $V_s=200 \times Z^{0.315}$				$1.85(1+\nu)\sigma_m^{0.46}$ $\times 10^{-4}$	0.3	$(8.27\sigma_m+18.8)$ $\times (1+\nu) \times 10^{-5}$	$(3.05\sigma_m+6.93)$ $\times (1+\nu) \times 10^{-5}$
3	基礎岩盤	2.35	1500	5290	0.05	0.2	線形弾性とした			

備考
 *1) 堤体のせん断弾性波速度は沢田の速度分布モデルを用いた。Zは堤体表面からFEM要素重心までの深さ、 σ_m は常時の平均主応力を表す。
 初期せん断剛性率は次式により求めた。
 $G_0 = \rho V_s^2$ (kN/m²)
 *2) 堤体の非線形特性は、八汐ダム堤体材料の振動三軸試験結果より設定した。せん断剛性率及び減衰率の非線形性は下式により求め、減衰率の非線形性は表中の式の通りとした。

せん断剛性率(G) $G = G_0 \frac{1}{1 + \gamma / \gamma_r}$

減衰定数(h) $h = h_{max} \frac{b + \gamma_r}{a + \gamma_r}$

h_{max} , h_{min} を極値とした双曲線で評価
 h_{max} : H-Dモデルによる最大減衰定数
 h_{min} : 試験による微小ひずみ(1.0×10^{-5} 程度以下)時の減衰定数



央から1/5程度下部で引張，圧縮，せん断の各ひずみがともに最大値を示した。その値は引張が 1.78×10^{-4} ，圧縮が 1.81×10^{-4} ，せん断が 2.97×10^{-4} であり，いずれも降伏ひずみに対して引張で1/10程度，圧縮で1/60程度，せん断で1/100程度に相当する十分に小さいレベルである。(降伏ひずみは次のとおり。曲げ引張： 2.3×10^{-3} ，圧縮： 1.2×10^{-2} ，せん断： 2.8×10^{-2} ，ひずみ速度はそれぞれ 1×10^{-2} ， 8×10^{-3} ， 2×10^{-2} 1/sec，いずれも -15°C)

また，前述の現地採取コア供試体を用いた曲げ試験結果である引張ひずみ 2.3×10^{-3} (地震時の気温 -5°C ，ひずみ速度 1×10^{-2} 1/sec)と比較しても，解析による最大ひずみは大きく下回っている⁴⁾。

この三次元FEM解析モデルによる評価では，降伏ひずみを超過するひずみの発生や，ひび割れ発生位置と最大ひずみの発生位置の整合性を確認することができなかったため，詳細な検討を実施してひび割れ発生メカニズムを推定することとした。

(2) 加速度観測計観測記録に基づく評価

八汐ダムの天端周辺構造は図-11に示すとおり，コンクリートブロックと遮水壁の間はサンドマスチックを充填する構造となっている。表面遮水壁の左右岸付近に発

生した70~80mの1条ずつのひび割れの他，天端付近には左右3箇所ずつ長さ0.3~1.8mの短いひび割れも確認されている。いずれのひび割れも天端コンクリートのブロックジョイントから充填したサンドマスチック，遮水壁へと連続していた。地震後，八汐ダム天端コンクリートのジョイント幅を測定したところ，ひび割れ箇所のブロックジョイントは相対的に開いていた。

天端コンクリートブロック付近でのひび割れの状況や，他ダムでの損傷事例より，コンクリートブロックのジョイント開口に伴うひずみ集中がひび割れ発生のきっかけとなった可能性があるかと推察した。

このことから，まず，天端の加速度計記録より求める加速度計位置の変位を用いて，計器間の相対変位について調べてみた。ダム天端中央には加速度計EA-11，ダム中央からダム左右岸端の中間位置に加速度計EA-10，EA-12を配置しており，右岸地山のリムトンネル内には加速度計EA-13が配置されている。これら加速度記録を積分して基礎中央EA-2との相対変位，それぞれの加速度計間の相対距離の変化量を算定した。各区間の相対距離変化の最大値とこれが各区内のコンクリートブロックジョイントへ均等に集中させた場合の伸び量とひずみの算定結果は表-5に示すとおりであり，そのひずみ値は今回現地から採取したサンドマスチックの引張降伏ひ

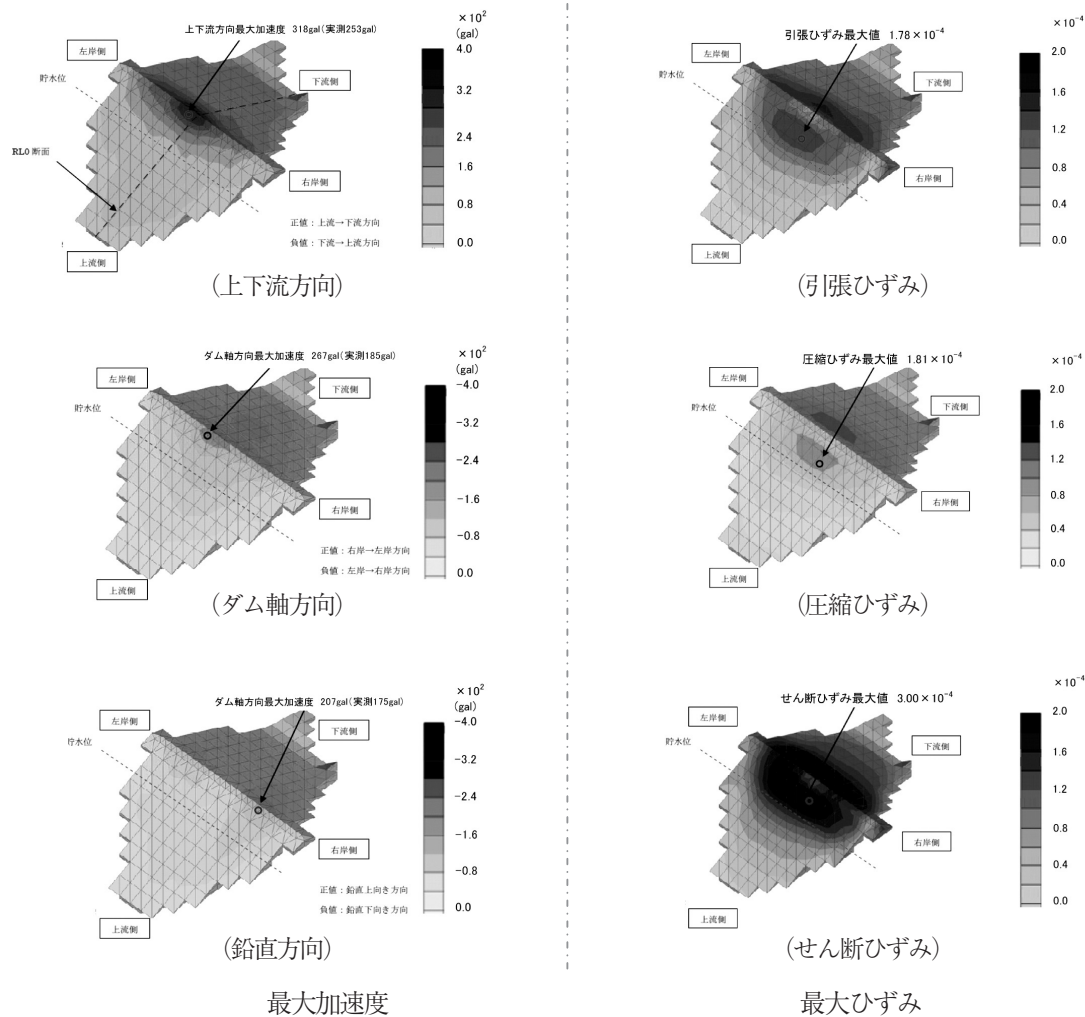


図-10 三次元解析結果, 最大応答値分布

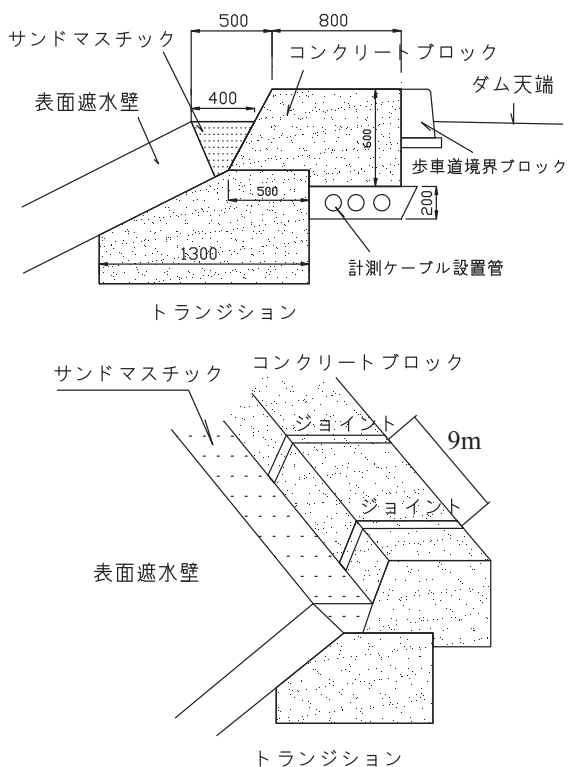


図-11 八汐ダム天端構造図

表-5 コンクリートブロックジョイント開口変位 (加速度計記録積分による推定)

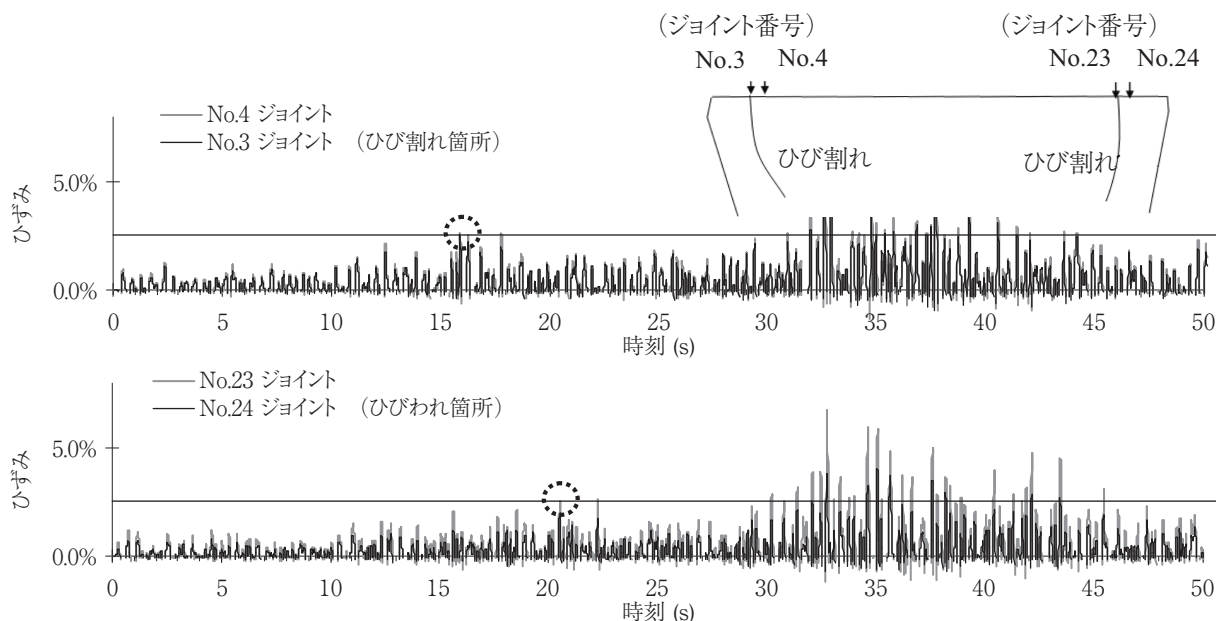
区間	相対変位 (最大値)	ジョイント数	ジョイント部開口		備考
			変位	ひずみ	
EA-10~11	3.9mm	6	0.7mm	0.054	サンドマスチックの降伏ひずみ: 0.025
EA-11~12	4.4mm	9	0.5mm	0.041	
EA-12~13	5.7mm	6	1.0mm	0.079	

※区間位置については図-3を参照

ずみ 2.5×10^{-2} (-5°C , ひずみ速度 1×10^{-2} 1/sec) を超過し, 中央付近の EA-10~11や EA-11~12よりも右岸側でひび割れの生じた位置を含む EA12~13間のひずみが相対的に大きくなっていることを確認した。

(3) 推定ひび割れメカニズム

(2)に示したように, 天端コンクリートブロックのジョイント開口に伴うひずみ集中が, ひび割れ発生のかきかけとなった可能性が考えられたため, 前述した三次元動



図—12 ブロックジョイント周辺における集中ひずみ（推定）

的解析の結果を用いて詳細にひび割れ発生メカニズムを考察した。

三次元動的解析結果から天端部要素変位の時刻歴を抽出し、各々の変位量をコンクリートブロックのジョイント位置に集中させた場合のひずみの時刻歴を確認した。すべてのジョイント位置でサンドマスチックの引張降伏ひずみを超過する結果となったが、左右岸のひび割れ発生位置付近で早い時刻に超過することが確認された。それ以降の時刻では、更に大きなひずみがひび割れ位置より堤体中央側で発生しているが、先に発生したひび割れによって応力開放の影響を受けて大きなひび割れが生じなかったものと推察される。

6. 補修・補強工事

アスファルト表面遮水壁の補修については、震災後の電力需給に備えるための早期の応急復旧と夏季のピーク対応のための恒久対策を行うこととした。第1段階として短期間で施工可能な工法による補修を実施した。水面より上部のひび割れについては、図—13に示すとおりアスファルトマスチックをひび割れに塗布した上にアスファルト含浸不織布シートを布設する工法を採用した。なお、アスファルトマスチック塗布材の選定にあたっては、寒冷期の夜間気温低下によって生じるひび割れ幅の変動にも追従できるように、低温での変形性能の改善を目的として開発された低弾性アスファルトを使用したアスファルトマスチックを採用した。なお、水中部のひび割れについては、気中部より温度が高く温度変化が小さいことから水中施工が可能なエポキシ樹脂材塗布による補修を行った。

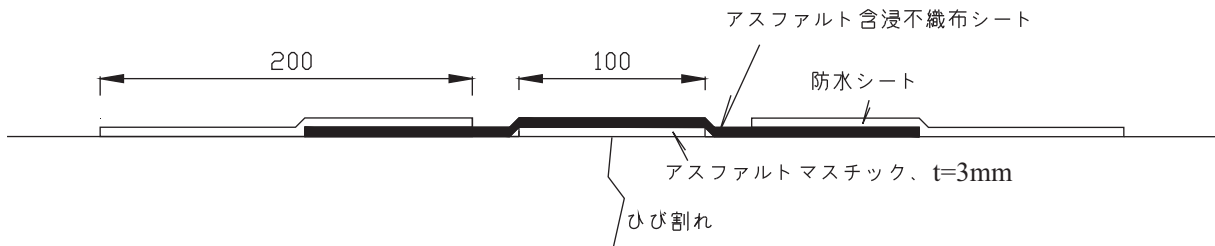
恒久対策は図—14に示すとおり実施した。ひび割れ箇

所を中心に上部遮水層3層のうち2層目までを切削除去し、3層目ひび割れ部を10cm程度の幅でカットした。3層目にアスファルトマスチックを充填し、その上部にアスファルト含浸不織布シートを布設後、上層2層についてはアスファルトコンクリートを再舗設した。なお、3層目の充填アスファルトマスチックには施工中の流動性を抑制するため有機繊維を混入した。アスファルトコンクリート再舗設に伴う切削範囲は、建設時の継目配置の考え方を踏襲して既設の遮水層と新設の遮水層の継目が上下層で50cm以上離れるように配置した。

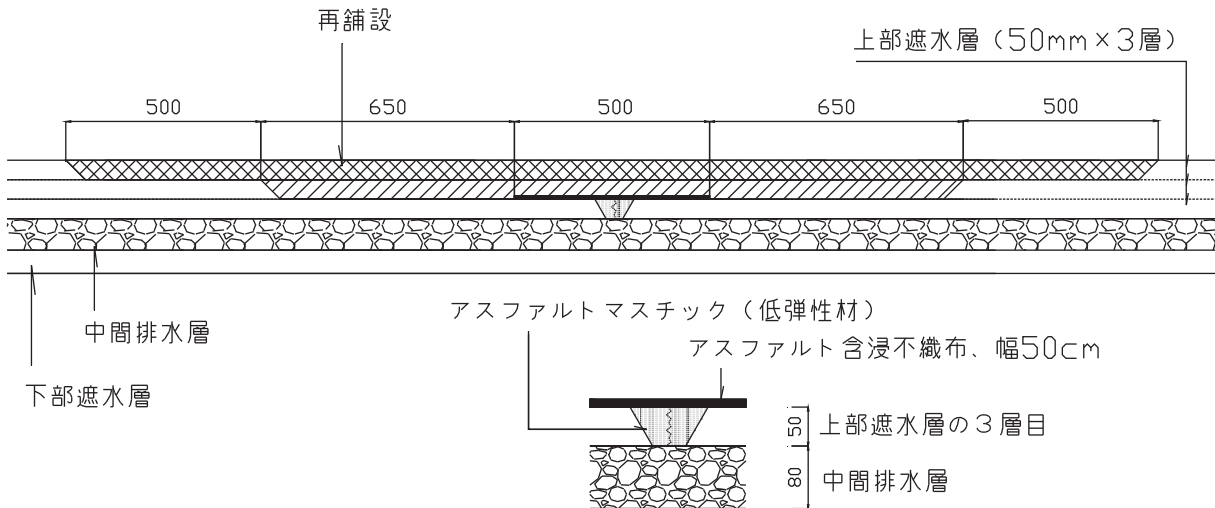
再舗設に引き続き、表面遮水壁の天端コンクリートブロックのジョイント周辺については、図—15のとおり補強した。補強工の設計にあたっては、強震時にコンクリートブロックのジョイントが開口変位する場合であっても、これに伴うひずみが表面遮水壁へ伝達されないように、変形追従性に富んだ材料を使用するとともに、縁切り構造を採用した。補強部で採用した改質アスファルトマスチックの引張降伏ひずみは50%以上であり、従来採用していたサンドマスチックの降伏ひずみ約2.5%に比較すると格段に改善されている。更に、改質アスファルトマスチック層の底部には鋼板を設置し、ジョイント開口ひずみを上層に伝えるべくする構造とした。

7. 結 論

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、アスファルト表面遮水壁型フィルダムである八汐ダムにおいて基盤で最大約50gal、天端で最大約250galの加速度が観測された。観測された地震加速度は設計段階で考慮していたレベルよりかなり小さな値であったものの、同地震の影響によってアスファルト表面遮水壁にひ



図一13 早期補修工標準断面



図一14 アスファルト再舗設 (恒久対策)

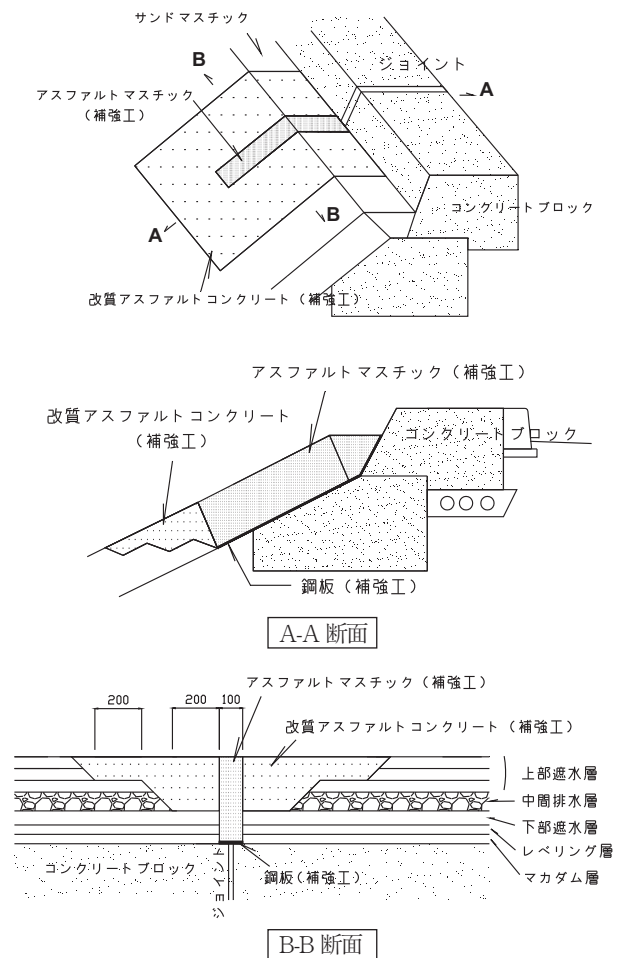
び割れが生じた。

補修・補強工事については、早期完了，耐久性，強震時におけるひび割れ再発防止の観点から実施された。損傷が目視で確認でき，表面から補修を行えるというアスファルト表面遮水壁型フィルダムの利点が活かされ，早期の対応が可能であった。

東北地方太平洋沖地震に伴い生じた表面遮水壁のひび割れは，天端コンクリートブロックのジョイント開口に伴うひずみ集中が要因と推察されたため，ブロックジョイント周辺構造については，変形追従性に富んだ材料を使用するとともに，縁切り構造を採用した。






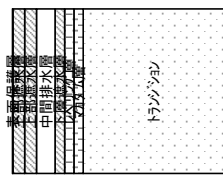
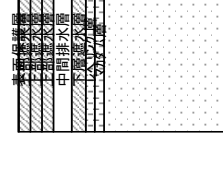
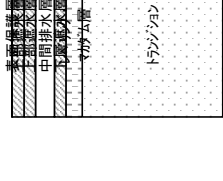

参考文献

- 1) 塚田智之，内田善久，渡部 浩，山本浩志：東北地方太平洋沖地震における八汐ダムの被災状況について，大ダム No.219:51-57，第44回ダムの技術講演討論会発表報告，2012
- 2) 石井 清，上條 寛：蛇尾川上部ダムのアスファルトコンクリートの遮水壁の設計，大ダム No.126：61-69，1988
- 3) 伊藤金通，川島文治，塚田智之：八汐ダムの設計と施工，電力土木 No.255：23-33，1995
- 4) 塚田智之，山本浩志，島田裕樹，内田善久：2011年東北地方太平洋沖地震によるアスファルト表面遮水壁型フィルダムの被害と地震時挙動，ダム工学 Vol.23(1)：6-18，2013



図一15 補強工標準断面

アスファルト表面遮水壁の諸元および力学的性状等の比較

沼原発電所 (67万5千kW、運用1973年)	八汐ダム	塩原発電所 (90万kW、運用1994年)	小丸川発電所 (120万kW、運用2007~11年)	京極発電所 (60万kW、運用2014年~予定)
 <p>沼原ダム</p> <p>※電源開発HPより転載</p>	 <p>八汐ダム</p> <p>※東京電力HP(7レスリース)より転載</p>	 <p>大瀬内ダム(主ダム)、かなすみダム(副ダム)</p> <p>※九州電力HPより転載</p>	 <p>上部調整池</p> <p>※北海道電力HPより転載</p>	 <p>調整池全景</p>
<p>事業者 電源開発</p> <p>竣工年 1973年</p> <p>所在地 栃木県那須塩原市</p> <p>形式 プール式</p> <p>堤高 38.0 m</p> <p>堤頂長 1,597 m</p> <p>堤体積 1,260 × 10³ m³</p> <p>利用水深 40 m</p> <p>遮水面積 18 ha</p> <p>総貯水容量 4,336 × 10³ m³</p> <p>上流面法面勾配 1:2.5</p> <p>下流面法面勾配 1:2.5、3.0</p> <p>舗設面積 197,000 m²</p> <p>斜面部 140,000 m²</p> <p>底面部 57,000 m²</p>	<p>事業者 東京電力</p> <p>竣工年 1992年</p> <p>所在地 栃木県那須塩原市</p> <p>形式 ダム式</p> <p>堤高 90.5 m</p> <p>堤頂長 263 m</p> <p>堤体積 2,109 × 10³ m³</p> <p>利用水深 49 m</p> <p>遮水面積 47 ha</p> <p>総貯水容量 11,900 × 10³ m³</p> <p>上流面法面勾配 1:2.0</p> <p>下流面法面勾配 1:2.0</p> <p>舗設面積 37,700 m²</p> <p>斜面部 37,700 m²</p> <p>底面部 なし</p>	<p>事業者 九州電力</p> <p>竣工年 2006年</p> <p>所在地 宮崎県児湯郡</p> <p>形式 プール式</p> <p>堤高 65.5 m、42.5 m</p> <p>堤頂長 166 m、140 m</p> <p>堤体積 860 × 10³ m³、390 × 10³ m³</p> <p>利用水深 28 m</p> <p>遮水面積 27 ha</p> <p>総貯水容量 6,200 × 10³ m³</p> <p>上流面法面勾配 1:2.5</p> <p>下流面法面勾配 1:2.0</p> <p>舗設面積 290,000 m²</p> <p>斜面部 180,000 m²</p> <p>底面部 110,000 m²</p>	<p>事業者 北海道電力</p> <p>竣工年 2013年</p> <p>所在地 北海道虻田郡</p> <p>形式 プール式</p> <p>堤高 22.6 m</p> <p>堤頂長 1,140.9 m</p> <p>堤体積 1,539 × 10³ m³</p> <p>利用水深 45 m</p> <p>遮水面積 16 ha</p> <p>総貯水容量 4,400 × 10³ m³</p> <p>上流面法面勾配 1:2.5</p> <p>下流面法面勾配 1:2.5</p> <p>舗設面積 178,000 m²</p> <p>斜面部 157,000 m²</p> <p>底面部 21,000 m²</p>	<p>事業者 京極発電所</p> <p>竣工年 2014年~予定</p> <p>所在地 北海道虻田郡</p> <p>形式 プール式</p> <p>堤高 22.6 m</p> <p>堤頂長 1,140.9 m</p> <p>堤体積 1,539 × 10³ m³</p> <p>利用水深 45 m</p> <p>遮水面積 16 ha</p> <p>総貯水容量 4,400 × 10³ m³</p> <p>上流面法面勾配 1:2.5</p> <p>下流面法面勾配 1:2.5</p> <p>舗設面積 178,000 m²</p> <p>斜面部 157,000 m²</p> <p>底面部 21,000 m²</p>
<p>アスファルト遮水壁構造</p> <p>・補強層は、構造上または施工上弱点となりやすい監査筋上部および斜面曲面の一部、ならびに測定機器設置箇所等に追加舗設。</p>				
<p>標準配合</p> <p>項目 重量率 材料等</p> <p>骨材最大粒径 15mm スレ-ト7.5/7.5/60/80</p> <p>アスファルト 8.5% スレ-ト7.5/7.5/60/80</p> <p>骨材 81.3% 炭酸カルシウム(石粉)・消石灰</p> <p>フィラー 9.4%</p> <p>添加剤 0.8% 7.5/8.5</p>	<p>項目 重量率 材料等</p> <p>骨材最大粒径 13mm スレ-ト7.5/7.5/60/80</p> <p>アスファルト 7.7%</p> <p>骨材 84.2%</p> <p>フィラー 7.9%</p> <p>添加剤 0.2%</p>	<p>項目 重量率 材料等</p> <p>骨材最大粒径 13mm スレ-ト7.5/7.5/60/80</p> <p>アスファルト 7.7%</p> <p>骨材 84.2%</p> <p>フィラー 7.9%</p> <p>添加剤 0.2%</p>	<p>項目 重量率 材料等</p> <p>骨材最大粒径 20mm スレ-ト7.5/7.5/60/100</p> <p>アスファルト 7.4%</p> <p>骨材 79.15%</p> <p>フィラー 13.3%</p> <p>繊維 0.15%</p>	<p>項目 重量率 材料等</p> <p>骨材最大粒径 20mm スレ-ト7.5/7.5/60/100</p> <p>アスファルト 7.4%</p> <p>骨材 79.15%</p> <p>フィラー 13.3%</p> <p>繊維 0.15%</p>
<p>遮水層の標準配合と低温地震時の変形追従性(耐震評価)※</p> <p>【東日本大震災による事後評価】</p> <p>項目 値 備考</p> <p>温度 -10℃ 東日本震災時気温</p> <p>ひずみ速度(1/s) 1 × 10⁻⁴ 解析結果より</p> <p>降伏ひずみ 0.95 × 10⁻³ 参考値</p> <p>破壊ひずみ 0.7 × 10⁻³ (小丸川発電所 大瀬内地 最大加速度 点データ参照)</p> <p>耐震評価 210gal ダム基盤部(天端部382gal)</p>	<p>【東日本大震災による事後評価】</p> <p>項目 値 備考</p> <p>設計温度 -10℃</p> <p>破壊ひずみ 0.31 × 10⁻³ 使用限界状態、上部遮水層</p> <p>破壊ひずみ 120gal</p> <p>解析ひずみ(最大) 0.19 × 10⁻³</p>	<p>【東日本大震災による事後評価】</p> <p>項目 値 備考</p> <p>設計温度 -10℃</p> <p>破壊ひずみ 0.31 × 10⁻³ 使用限界状態、上部遮水層</p> <p>破壊ひずみ 120gal</p> <p>解析ひずみ(最大) 0.19 × 10⁻³</p>	<p>【設計段階時評価】</p> <p>項目 値 備考</p> <p>設計温度 -20℃</p> <p>破壊ひずみ 0.39 × 10⁻³ 最低水位時、露出部</p> <p>破壊ひずみ 220gal</p> <p>解析ひずみ(最大) 0.28 × 10⁻³</p>	<p>【設計段階時評価】</p> <p>項目 値 備考</p> <p>設計温度 -20℃</p> <p>破壊ひずみ 0.39 × 10⁻³ 最低水位時、露出部</p> <p>破壊ひずみ 220gal</p> <p>解析ひずみ(最大) 0.28 × 10⁻³</p>
<p>備考</p> <p>(出典:2013.9)「電源開発沼原発電所沼原ダムアスファルト表面遮水壁の発生メカニズムの検討」H25第1回新技術・エリート委員会(資料)</p> <p>・降伏ひずみは曲げ試験による。</p> <p>・破壊ひずみは2次元動的解析による。動的解析結果はシロコウム製3次元振動実験により検証。</p> <p>(出典:電力土木No.255(1995.1))「八汐ダムの設計と施工」</p>	<p>破壊ひずみは曲げ試験による。曲げ試験は過大評価を選択するため、ひずみゲージを用いた方法を採用。</p> <p>・解析ひずみは①3次元動的解析によるひずみ分布に基づく最大ひずみ断面における②2次元動的解析による。入力地震最大加速度は、①250gal、②上部遮水層が破壊しない限界を使用限界とし、レベル1地震動120gal、下部遮水層が破壊しない限界を終局限界とし、レベル2地震動170gal。</p> <p>(出典:ダム工学Vol.11.No.1(2004))「アスファルト全面表面遮水壁型調整池の耐震性評価」、電力土木No.315(2005.1)「アスファルト調整池の耐震性評価に関する実験的検証」(他)</p>	<p>破壊ひずみは曲げ試験による。曲げ試験は過大評価を選択するため、ひずみゲージを用いた方法を採用。</p> <p>・解析ひずみは①3次元動的解析によるひずみ分布に基づく最大ひずみ断面における②2次元動的解析による。入力地震最大加速度は、①250gal、②上部遮水層が破壊しない限界を使用限界とし、レベル1地震動120gal、下部遮水層が破壊しない限界を終局限界とし、レベル2地震動170gal。</p> <p>(出典:電力土木No.281(2001.1))「水工アスファルト混合物の低温時力学的性状試験法」、電力土木No.300(2002.7)「京極発電所上部調整池アスファルト表面遮水壁の設計」(他)</p>	<p>降伏ひずみは、SHRP試験法を改良した間接引張試験による。間接引張試験は温度・ひずみ速度の適用範囲が広く、従来の試験法では困難であった低温領域での力学的性状を精度よく測定することが可能。</p> <p>・破壊ひずみは、堤高および地質条件を考慮して選定した解析断面における2次元動的解析による。</p> <p>(出典:電力土木No.281(2001.1))「水工アスファルト混合物の低温時力学的性状試験法」、電力土木No.300(2002.7)「京極発電所上部調整池アスファルト表面遮水壁の設計」(他)</p>	

※変形追従性の評価として、遮水壁に生じる解析ひずみとアスファルト混合物の力学的性状(特に引張ひずみ)を比較する設計思想は、八汐ダム以降に確立された。(参照:電力土木No.296(2001.11))「アスファルトに関する最近の技術」(菅原照雄)

参考資料9 関連文献リスト

【火力発電所】

掲載書類名	文献名	著者
電力土木 2012年7月号No.360	東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策	東北電力(株) 斉藤知秀・森吉之・内海博
電力土木 2012年9月号No.361	東日本大震災後の緊急電源工事の概要と工期短縮対策	東北電力(株) 立花祐治・佐藤智・内海博
電力土木 2012年11月号No.362	東北地方太平洋沖地震に対する火力発電所地中構造物の耐震評価	東北電力(株) 坂本克洋・後藤浩・斉藤知秀
電力土木 2012年11月号No.362	女川原子力発電所における津波の評価および対策	東北電力(株) / 日本原燃(株) 菅野剛・大内一男・平田一穂
電力土木 2012年11月号No.362	東京電力の火力発電所が東日本大震災による津波・液状化で受けた影響と土木設備の状況 ～液状化の影響を強く受けた常陸那珂火力発電所の地中土木設備を中心として～	東京電力(株) 石川哲哉・高井力・佐藤一也
電力土木 2013年1月号No.363	浜岡原子力発電所における津波対策工事の概要	中部電力(株) 藤井誠・清水重彦・秋山康之
電力土木 2013年3月号No.364	千葉火力3号系列コンパインバンドサイクル発電設備化に伴う主要土木工事の設計ならびに施工の概要	東京電力(株) 加村晃良・山本義昭・赤村重紀
電力土木 2013年3月号No.364	東北地方太平洋沖地震による女川原子力発電所土木構造物への影響	東北電力(株) 伊藤悟郎・肥田幸賢・大宮宏之
電力土木 2013年3月号No.364	防波壁に作用する津波流体力に関する水理模型実験	中部電力(株) 仲村治朗・田中良仁・内野大介
電力土木 2013年5月号No.365	原子力発電所屋外重要土木構造物に関わる耐震技術の変遷と今後の展望	(一財)電力中央研究所 大友敬三
電力土木 2013年5月号No.365	防鹿島火力発電所7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要 ～緊急設置電源としてのガスタービン設置工事～	東京電力(株) 川村哲也・古川園健朗・中島崇
電力土木 2013年5月号No.365	遠心模型実験による防波壁の地震時挙動の検討	中部電力(株) 仲村治朗・田中良仁・和仁雅明
電力土木 2013年5月号No.365	陸上構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波庄の算定方法	関西電力(株) / 名古屋大学 有光剛・大江一也・川崎浩司
電力土木 2013年7月号No.366	鹿島火力発電所7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要 ～コンパインバンドサイクル工事における土木工事設計概要編～	東京電力(株) 古川園健朗・佐藤孝二・中島崇
電力土木 2013年9月号No.367	原町火力発電所荷役岸壁の東日本大震災からの復旧工事概要	東北電力(株) 森吉之・須田広樹
電力土木 2013年9月号No.367	3. 11 東日本大震災の津波に伴う油付着土壌のバイオ処理	東北電力(株) 南場浩二・森吉之
電力土木 2013年9月号No.367	鹿島火力発電所7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要 ～コンパインバンドサイクル工事における土木工事施工概要編～	東京電力(株) 中島崇・佐藤孝二・鬼束俊一
電力土木 2013年9月号No.367	鹿島火力発電所7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要 ～埋戻し材料を工夫した取放水管工事の設計概要編～	東京電力(株) 安田浩二・古川園健朗・鬼束俊一
電力土木 2013年9月号No.367	島根原子力発電所津波防波壁の設計と施工	中国電力(株) 河原和文・広兼修治・吉次真一・清重直也・大久保佳美
電力土木 2013年11月号No.368	鹿島火力発電所7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要～既設設備防護を主体とした大物搬入路工事の設計および施工概要～	東京電力(株) / 大成建設(株) 木下良介・古川園健朗・近藤浩二郎

掲載書類名	文献名	著者
電力土木 2013年11月号No.368	地震時に不安定化が懸念される急傾斜地での鉄塔基礎の補強設計	東京電力(株) 山本祐美加、松尾敏、杉本剛康
電力土木 2014年1月号No.369	フライアッシュを多量に混入したコンクリートの軟弱地盤置換工事への適用について	中部電力(株) 加藤幸盛、松井伴和、佐藤正俊
平成24年3月	電気設備地震対策ワーキンググループ報告書	原子力安全・保安部会電力安全小委員会電気設備地震対策ワーキンググループ
平成23年12月	東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書	消防庁危険物保安室・特殊災害室
平成23年9月28日	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告	中央防災会議
平成23年7月11日	設計津波の水位の設定方法等について ～復興計画策定の基礎となる海岸堤防の高さ決定の基準～	国土交通省
(編集/平成26年8月現在)	東日本大震災合同調査報告(土木編3 ライフライン施設の被害と復旧)	土木学会 東日本大震災合同調査報告書編集委員会
平成26年3月	電力土木施設の耐震性向上に関する調査	日建連電力工事委員会

【水力発電所】

掲載書類名	文献名	著者
大ダムNo.219、2012年4月、p51-57 (平成24年1月27日第44回ダム技術講演討論会)	東北地方太平洋沖地震に伴う八汐ダムの被災状況について	東京電力(株)塚田智之・内田善久・山本浩志
大ダムNo.219、2012年4月、p58-69 (平成24年1月27日第44回ダム技術講演討論会)	平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震による沼原ダムへの影響及びその後の対応について	電源開発(株)有賀茂
東北電力 東日本大震災復旧記録 (2012年9月)	東日本大震災復旧記録	東北電力(株)
電力土木 2012年11月号No.362	東北地方太平洋沖地震に伴う八汐ダムの被災状況	東京電力(株)小長谷文彦・渡部浩・玉井猛
電力土木 2012年11月号No.362	平成23年東北地方太平洋沖地震による沼原発電所沼原ダムへの影響及びその後の対応	電源開発(株)奥村裕史・松本匡司・小山喜久二
ダム工学 Vol.23 No.1 (2013)	2011年東北地方太平洋沖地震によるアスファルト表面遮水型フィルダムの被害と地震時挙動	東京電力(株)塚田智之・山本浩志・島田祐樹・内田善久
大ダム No.226 (2014-1) (ICOLD 第81回年次例会 口頭発表論文)	アスファルト表面遮水型フィルダムの地震時挙動ならびに補強工	東京電力(株)塚田智之・山本浩志・島田祐樹・内田善久・高澤和典
(編集中/平成26年8月現在)	東日本大震災合同調査報告(土木編3 ライフライン施設の被害と復旧)	土木学会 東日本大震災合同調査報告書編集委員会
平成24年度地球シミュレータ産業戦略 利用プログラム利用成果報告書 (2013)	アスファルト表面遮水壁型ロックフィルダムにおける遮水壁の地震時挙動および遮水壁復旧構造評価に関する耐震解析	東京電力(株)土居賢彦