

## 第2章 電力土木施設の耐震性向上工事事例

### 2.1 概要

#### (1) 事例調査の目的

水力・火力・原子力発電並びに送変電における既設電力土木施設の耐震性向上工事事例を収集し、その技術情報を体系的に取りまとめ、発電事業者や電力土木施設の計画や工事に携わる幅広い土木技術者の利用に供するための基礎資料とすることを目的とする。

#### (2) 事例調査の内容

##### a) 調査対象期間

1995年（平成7年）阪神・淡路大震災以降、2013年度（平成25年度）竣工工事までを対象とした。

##### b) 調査対象施設

水力・火力・原子力発電並びに送変電における既設電力土木施設を対象とした。新設工事は対象外としたが、液状化対策工事および津波防波堤工事は対象とした。また、電力関連以外でも耐震性向上工事の参考となる事例は対象とした。

##### c) 調査方法

以下の専門誌等や各電力会社ホームページ等において、公開（記載）されている事例（記事）に加え、電力工事委員会参加各社（25社）の工事実績資料を基に、発注者（電力各社他）と記載について協議を行い、承諾を得たものについて、設計概要、施工概要を取りまとめ、工事事例シートを作成した。

- ①電力土木
- ②土木学会誌
- ③地盤工学会誌
- ④コンクリート工学
- ⑤日経コンストラクション

事例調査項目を以下に示す。

- ①発注者
- ②施設名
- ③所在地
- ④工事名称
- ⑤施工期間
- ⑥施工者
- ⑦キーワード
- ⑧概要（設計方針、施工概要、工法、工程、数量、参考図面、参考写真等）
- ⑨参考文献
- ⑩備考

#### (3) 事例調査の結果

水力・火力・原子力発電並びに送変電における既設電力土木施設の耐震性向上工事事例を表-2.1.1~2.1.4に示す。収集した事例数は、水力17例、火力18例、原子力30例、送変電6例の計71事例である。

これら71事例のうち、工事内容の公開に対して発注者の承諾を頂いた水力15例、火力13例、原子力13例、送変電5例の計46事例については、後節において工事事例シートに記載した。また、対象施設別の事例数集計結果を図-2.1.1に、対象施設別の耐震性向上対策工法一覧を表-2.1.5に示す。

表-2.1.1 水力土木施設における耐震性向上工事事例

No.	事例シート No.	発注者	工事名	対象構造物	目的	工法
1	1-1	東北電力(株)	山内発電所 導水路他改修工事	導水路トンネル	災害復旧 躯体補強	支保工内巻
2	1-2	東北電力(株)	栗駒発電所 導水路他改修工事	導水路 (トンネル、開水路)	災害復旧 躯体補強	鋼板内張モルタル充填工法 FRPM 板ライニング工法
3	1-3	中部電力㈱	奥泉水力発電所 沢水管橋の免震支承化工事	水管橋	保有耐力向上	免震支承化
4	1-4	中部電力㈱	大井川(発)大井川ダム水門柱の耐震裕度向上工事	水門柱	保有耐力向上	高減衰ダンパーを用いた新設桁による水門柱の連結化
5	1-5	中部電力㈱	大井川(発)寸又川ダム上部橋梁改良他工事	水門柱・管理橋	保有耐力向上	管理橋の桁増し厚
6	1-6	中部電力㈱	湯山(発)千頭ダム水門柱改良他工事	水門柱	保有耐力向上	コンクリート増し厚
7	1-7	中部電力㈱	川口(発)水圧鉄管支承部改良工事	水圧鉄管	保有耐力向上	支承ピン取替 台座拡幅及び補強プレートの設置
8	1-8	電源開発㈱	足寄発電所水圧鉄管小支台補修工事	水圧鉄管小支台	災害復旧 保有耐力向上	炭素繊維補強 空隙充填補強
9	1-9	電源開発㈱	十津川第一発電所 野尻水路橋耐震補強工事	水路橋	耐震補強	ランガー桁吊材取替え リングガータの鋼板補強 支承取付けボルト交換
10	1-10	電源開発㈱	尾鷲第一発電所 調圧水槽耐震補強工事	調圧水槽	耐震補強	コンクリートと繊維材の巻立て
11	1-11	東日本旅客鉄道	信発山本調整池堤体他災害応急(中越地震) 信発新山本調整池堤体他災害応急(中越地震)	中央遮水壁型ロックフィル ダム(堤体)	災害復旧	損傷部分撤去・再盛立て 堤体観測システムの充実(地震計の設置など) 緊急放流用非常用発電機の設置
12	1-12	東京都水道局	山口貯水池堤体強化工事	アースフィルダム(堤体)	耐震補強	単純押え盛土+下流傾斜・水平ドレーン
13	1-13	東京都水道局	村山下貯水池堤体強化工事	アースフィルダム(堤体)	耐震強化	ジオテキスタイル補強盛土(上下流)+天端セメント改良
14		神戸市	ダムの耐震補強工事	重力式粗石コンクリートダム (堤体)	耐震補強(転倒)	堤体増築(上流側腹付コンクリート)
15		国交省四国地整	四万十川における耐震工事	水門(堰柱、門柱、底版)	耐震補強 (曲げ、せん断補強)	鉄筋埋設式PCM巻立て補強工法(AT-P工法) アラミド繊維補強工法 あと施工型せん断補強工法(PHB工法)
16	1-14	(海外)	石岡ダム復旧工事(仮称)	洪水吐(堰柱) 取水トンネル	災害復旧 断層変位対策	内張鋼管によるライニング エポキシセメント注入 締切堤設置
17	1-15	(海外)	北米既設ダムの耐震補強事例	堤体	耐震補強	耐震壁+押さえ盛土(上流側) パンプアンカーによる堤体下部固定 ロック盛土(下流側)

表-2.1.2 火力土木施設における耐震性向上工事事例

No.	事例シート No.	発注者	工事名	対象構造物	目的	工法
1	2-1	東北電力㈱	原町火力(発)取放水管液状化対策	既設埋設管路(取放水管)	液状化対策	浸透注入固化工法(超多点注入工法)
2	2-2	東京電力㈱	千葉火力発電所1・2号系列新設工事関連する建築関係準備工事	本館基礎(新設)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法
3		東京電力㈱	富津火力発電所3号系列新設工事の内建築関係準備工事他2件	煙突HRSG制御機器室放水路等(新設)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法
4	2-3	東京電力㈱	常陸那珂火力発電所1号機新設工事の内地盤改良工事	水処理施設や放水路ボイラー、事務本館等(新設)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法
5	2-4	東京電力㈱	東扇島火力発電所 PC配管橋P8橋脚耐震補強工事	PC配管橋脚	耐震補強	コンクリート巻立て工法
6		東京電力㈱	富津火力発電所4号系列増設工事の内建築関係準備工事他2件	HRSG・吸気室・主変圧室放水路(新設)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法
7		東京電力㈱	広野火力発電所 東原跨線橋改修工事	跨線橋	曲げ補強・せん断補強・落橋防止	鋼板巻立て補強 落橋防止アンカー
8	2-5	東京電力㈱	東扇島火力発電所 受入配管70m水路横断橋耐震補強対策工事	水路横断橋	落橋防止対策	落橋防止装置、変位制限装置、段差防止装置、縁端拡幅装置
9		東京電力㈱	東扇島火力発電所LNGバース配管橋(PH11、PH12)落橋対策工事	管路橋(LNGバース配管橋)	落橋防止対策	変位制限装置、段差防止装置
10	2-6	東京電力㈱	常陸那珂火力発電所2号機増設工事のうち貯炭場他ならびに関連除却工事	貯炭場設備(新設)	地震時支持力確保(液状化対策)	吸水型振動棒締固め工法(密度増大工法) 高圧噴射撹拌工法(固結工法)
11	2-7	中部電力㈱	川越火力発電所No.5、6LNGタンク設置の内地盤強化他工事	タンク(新設) 既設護岸	液状化対策 側方流動対策	タンク部: サンドコンパクションパイル工法 護岸部: 振動棒締固め、浸透固化処理工
12	2-8	中部電力㈱	碧南火力発電所4号機石炭灰埋立地盤強化試験工事	主要構造物(新設) (地盤: 灰捨地)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法 (建設残土や石炭灰を中詰め材とした試験施工)
13	2-9	中部電力㈱	碧南4・5号取水設備他改良工事	取水設備(取水槽 取水路)	耐震裕度向上	(側方地盤の改良) コンクリート置換工、高圧噴射撹拌工法
14	2-10	関西電力㈱	姫路第二発電所設備更新工事	本館建屋、管理棟、循環水管LNG配管等(新設)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法(動的、静的)、 変位低減型深礎処理工法
15	2-11	中国電力㈱	岩国(発)燃料タンク液状化対策工事	燃料タンク(旧法タンク)	液状化対策	鋼矢板リング工法
16	2-12	中国電力㈱	岩国(発)10,000KL燃料タンク液状化対策工事	燃料タンク(既設)	液状化対策	鋼矢板リング工法
17	2-13	四電エネジ㈱ (四国電力㈱)	阿南発電所No.5原油タンク液状化対策工事	原油タンク(既設)	液状化対策	曲線ボアリング削孔による浸透固化注入工法
18		東京電力㈱ (電源開発㈱)	常陸那珂火力発電所新設工事貯炭場地盤改良工事(その1)	貯炭場(コンベア、スタック・リクレーマー道床)	液状化対策	サンドコンパクションパイル工法

表-2.1.3 原子力土木施設における耐震性向上工事例

No.	事例シート No.	発注者	工事名	対象構造物	目的	工法
1		北海道電力	泊発電所1,2号機屋外重要土木構造物耐震裕度向上工事	取水構造物	耐震裕度向上	周辺地盤改良(セメント系固化材を噴射・混合)
2		東北電力	女川原子力発電所2・3号機排気筒耐震裕度向上工事(基礎工事)	排気塔	耐震裕度向上	支持鉄塔の鋼材補強、筒身と支持鉄塔の弾塑性ダンパー連結、基礎内部埋土のコンクリート置換
3	3-1	東京電力	柏崎刈羽原子力発電所3号機冷却水路他復旧工事のうち3号機諸変圧器基礎他改良工事	変圧器、IPB・NPB基礎	地震時沈下防止	基礎の一体化、ユニット毎に杭またはMMR(人工岩盤)支持に統一、基礎梁の追加
4	3-2	東京電力	柏崎刈羽原子力発電所耐震強化工事のうち1~4号機放水路補強工事ならびに同関連除却工事他	放水路	耐震補強	軽量盛土工
5		東京電力	福島第一原子力発電所(6号機変圧器ヤードの基礎や防油堤の不等沈下対策工事)	変圧器、NPB基礎、防油堤	地震時沈下防止	変圧器基礎とケーブル部基礎の一体化と直下部地盤改良、堤内遮水シート設置
6		東京電力	福島第一原子力発電所(緊急車両用道路確保のための斜面対策工事)	斜面	大規模地震対策	(斜面対策)
7		東京電力	柏崎刈羽原子力発電所【津波対策】荒浜側防潮堤新設工事	発電所全域(防潮堤)	津波対策	盛土防潮堤:盛土工、擁壁防潮堤:鋼管杭打設工、地盤改良工、RC躯体構築工
8		東京電力	柏崎刈羽原子力発電所【津波対策】大湊側防潮堤新設工事	発電所全域(防潮堤)	津波対策	盛土防潮堤:盛土工(セメント改良土)
9	3-3	中部電力	浜岡原子力発電所3~5号機RCOW配管ダクト周辺地盤改良工事	屋外配管ダクト	耐震裕度向上	周辺地盤改良工事:コンクリート置換工法、高圧噴射攪拌工法
10	3-4	中部電力	浜岡原子力発電所防波壁設置工事	発電所全域(防波壁)	津波対策	RC地中連続壁基礎杭、鉄骨・鉄筋コンクリート造床版、鋼構造たて壁(基部はコンクリート充填)
11	3-5	北陸電力	志賀原子力発電所防潮堤構築(土木工事)	発電所全域(防潮堤)	津波対策 浸水防止	杭基礎+鉄筋コンクリート造躯体(排水ゲート設置)
12	3-6	北陸電力	志賀原子力発電所 取水槽・放水槽防潮壁他の設置工事	取水構造物(防潮壁)	津波対策 浸水防止	床版:鉄筋コンクリート造、たて壁:鉄骨+プレキャストコンクリート
13		関西電力	美浜発電所1,2号機 地盤改良工事	取水構造物(海水管、海水ポンプ室)	耐震裕度向上	コンクリート置換工法他による地盤改良工
14		関西電力	美浜発電所 耐震裕度向上工事(3号機背後斜面)	原子炉建屋背後斜面	耐震裕度向上	グラウンドアンカー工法
15		関西電力	美浜発電所 丹生大橋耐震補強工事	橋梁	耐震補強	免震支承、炭素繊維シート巻立て工法(橋脚)、落橋防止装置・変位制限装置
16		関西電力	美浜発電所(防潮堤の設置)	取水口、海水ポンプ室	津波浸水対策	防潮壁、防護壁
17		関西電力	高浜発電所(防潮堤の設置)	海水ポンプ室、取水路	津波浸水対策	防護壁
18		関西電力	大飯発電所(防潮堤の設置)	発電所全域(防潮堤)	津波浸水対策	防潮堤の嵩上げ
19		関西電力	大飯発電所(防潮堤の設置)	海水ポンプ室、純水タンク	津波浸水対策	防護壁
20		中国電力	島根原子力発電所津波防波壁設置工事	発電所全域(防波壁)	津波対策	防波壁
21	3-7	中国電力	島根原子力発電所 津波防波壁(3号機北側)設置工事	発電所全域(防波壁)	津波対策	防波壁
22		中国電力	島根原子力発電所 津波防波壁(3号機東側)設置工事	発電所全域(防波壁)	津波対策	防波壁、地盤改良工(薬液注入)
23	3-8	四国電力	伊方発電所1,2号機 荷揚岸壁耐震性向上工事	荷揚岸壁	耐震性向上	滑動抵抗杭(ケーソンの変形抑制)、および高圧噴射攪拌工法による地盤改良(液状化防止と土圧低減)
24	3-9	四国電力	伊方発電所 構内道路の耐震性向上工事	構内道路	耐震性向上	ジオテキスタイル補強(道路段差軽減対策)
25	3-10	九州電力	玄海原子力発電所構内道路及び屋外重要構造物周辺地盤改良工事	取水構造物、構内道路	耐震裕度向上 (液状化対策)	置換工法、高圧噴射攪拌工法、静的締固め工法
26	3-11	九州電力	川内原子力発電所 構内道路及び屋外重要土木構造物周辺地盤改良工事	取水構造物、構内道路	耐震裕度向上	置換工法、高圧噴射攪拌工法
27	3-12	日本原子力発電	敦賀発電所1号機格納容器冷却系海水配管基礎工事	CCS配管(冷却水配管)	耐震裕度向上	杭基礎、深層混合処理工法(地盤改良工)
28		日本原子力発電	敦賀発電所原子炉建屋周辺斜面耐震裕度向上工事	原子炉建屋周辺斜面	耐震裕度向上	グラウンドアンカー工法
29	3-13	日本原子力発電	敦賀発電所1号機 取水系構造物耐震裕度向上工事	取水系構造物、循環水ポンプ室	耐震裕度向上	取水路:鋼矢板+頭部連結ポンプ室下層地盤;曲がり削孔による浸透固化処理
30		日本原子力発電	耐震裕度向上工事(地震に伴う事象対応工事)	補機冷却用海水取水口	津波対策 (引き波対策)	貯水槽構築(鋼管杭、鋼矢板+RC造)

表-2.1.4 送変電土木施設における耐震性向上工事例

No.	事例シート No.	発注者	工事名	対象構造物	目的	工法
1		東京電力	印旛線No.20他鉄塔基礎補強工事	鉄塔基礎	耐震性向上 機能維持向上	せん断補強:コア削孔+孔壁目粗し+無収縮モルタル+TPナット鉄筋、曲げ補強:基礎天端RC増厚
2	4-1	東京電力	房総変電所3号変圧器基礎補強工事	変圧器基礎	地震時耐力向上	基礎床版の拡幅+下端筋増量+せん断補強筋増量+BH杭増設
3	4-2	東京電力	中東京幹線山線他中越地震復旧工事	鉄塔基礎	地震時表層崩壊対策	斜面崩壊対策:木杭、しがら、亀裂埋土、抑止杭 基礎補強:小口径鋼管杭
4	4-3	東京電力	専用橋耐震対策工事	専用橋	耐震補強	下部工:免震支承+制震ダンパー、上部工:座屈防止ブレース+断面補強
5	4-4	東京電力	専用橋耐震対策工事	専用橋	耐震補強	橋脚・橋台部:落橋防止装置(PCケーブル)+変位制限装置(アンカーバー型式せん断ストッパー)
6	4-5	中国電力	中国中幹線鉄塔基礎補強工事	鉄塔基礎	地震による不等移動対策補強	直接基礎を高耐力マイクロパイルにより補強

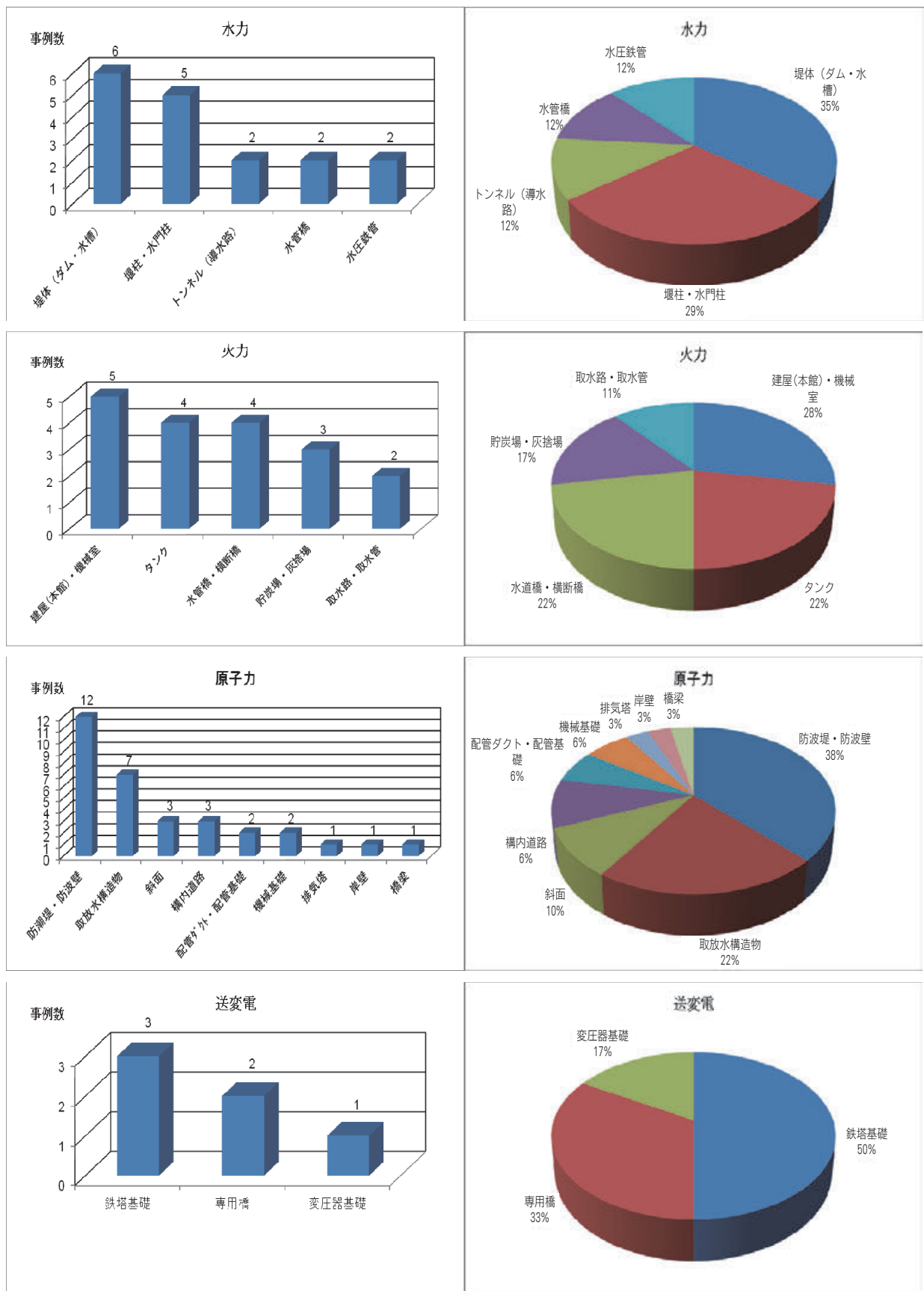


図-2.1.1 対象施設別の事例数集計

表-2.1.5 対象施設別の耐震性向上対策工法一覧

【水力】

対象施設	事例数	対策工法
堤体(ダム・水槽)	6	コンクリート増厚、押え盛土、ジオテキスタイル
堰柱・水門柱	5	ダンパー、コンクリート増厚、繊維巻立て
トンネル(導水路)	2	ライニング、支保工内巻
水管橋	2	免震支承、吊材取替
水圧鉄管	2	台座拡幅、支承取替、打替コン
計	17	

【火力】

対象施設	事例数	対策工法
建屋(本館)・機械室	5	SCP(サンドコンパクションパイル)
タンク	4	浸透固化注入、鋼矢板リング、SCP、振動棒
水管橋・横断橋	4	巻立て、装置(落橋・段差防止・変位制御等)
貯炭場・灰捨場	3	SCP、高圧噴射攪拌
取水路・取水管	2	浸透固化注入、高圧噴射攪拌、コンクリート置換
計	18	

【原子力】

対象施設	事例数	対策工法
防潮堤・防波壁	12	防潮堤・防波壁(鋼管杭・躯体・連壁・盛土・地盤改良等)
取放水構造物	7	地盤改良(薬液注入・高圧噴射攪拌等)、杭支持、軽量盛土
斜面	3	グラウンドアンカー
構内道路	3	高圧噴射攪拌、コンクリート置換、ジオテキスタイル
配管ダクト・配管基礎	2	高圧噴射攪拌、コンクリート置換
機械基礎	2	杭支持、コンクリート基礎
排気塔	1	杭支持、コンクリート基礎
岸壁	1	高圧噴射攪拌
橋梁	1	炭素繊維巻立て、免震支承、落下防止装置
計	32	

【送変電】

対象施設	事例数	対策工法
鉄塔基礎	3	基礎拡幅、増杭、マイクロパイル
専用橋	2	落下防止装置、免震支承、ダンパー
変圧器基礎	1	補強鉄筋、増杭
計	6	

収集事例の主な特徴は以下の通りである。

- ①対象施設別では、水力はダム堤体・水門柱、火力は建屋・タンク基礎、原子力は防波壁及び防潮堤・取水構造物、送変電は鉄塔基礎の事例が多い。
- ②目的別では、耐震性向上が全体的な目的ではあるが、個別には、水力はダム本体の保有耐力向上と水門柱等の耐震補強、火力は構造物基礎の液状化対策、原子力は津波対策と構造物の耐震裕度向上、送変電は基礎の耐震補強を目的とした事例が多い。
- ③主な対策工法別では、水力はコンクリート増厚・押え盛土・ダンパー、火力はサンドコンパクションパイプ・浸透固化・高圧噴射攪拌等の地盤改良、原子力は防波壁・防潮堤・地盤改良、送変電は基礎の拡幅・増杭等の事例が多い。

水力の耐震性向上事例の1例として、既設アースフィルダム堤体上下流側に補強盛土を築造した事例を図-2.1.2に示す。また、ダム水門柱改良他工事例を図-2.1.3に示す。本工事は、ダムの水門柱を対象に耐震検討を実施して、水門柱をコンクリートで増厚することにより、ダム水門柱の耐震裕度を向上させ、地震後の洪水吐ゲート操作の信頼性を高めたものである。さらに、既設管理橋を代替する追加桁に高減衰ダンパーを設置した水門柱の耐震裕度向上工事例を図-2.1.4および図-2.1.5に示す。

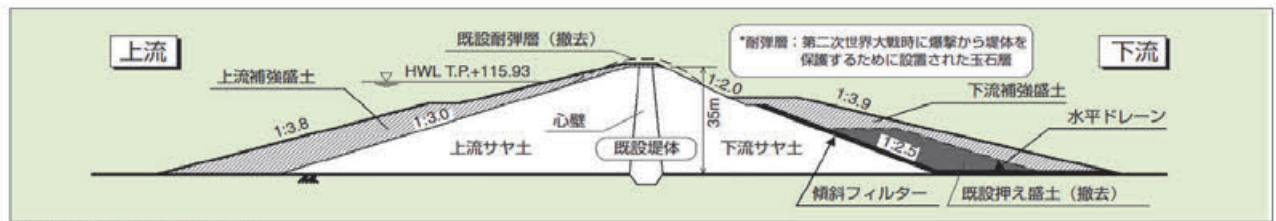


図-2.1.2 押え盛土による堤体強化事例 (事例シート 1-12)

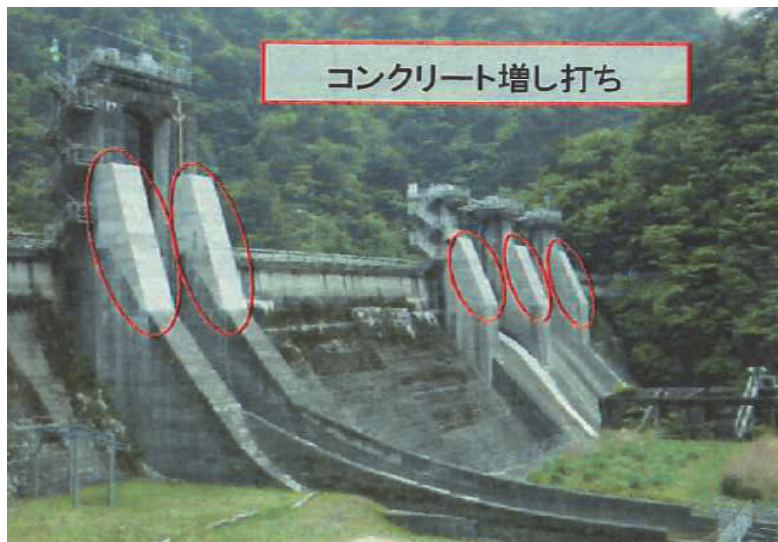


図-2.1.3 コンクリート増厚事例 (事例シート 1-6)

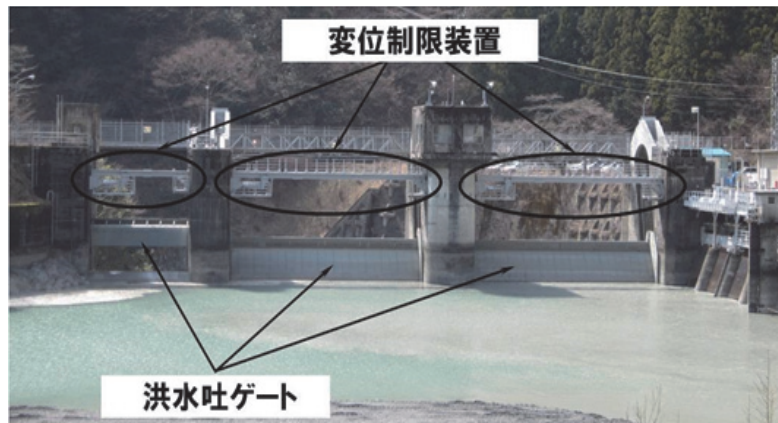


図-2.1.4 高減衰ダンパー設置事例（事例シート1-4）

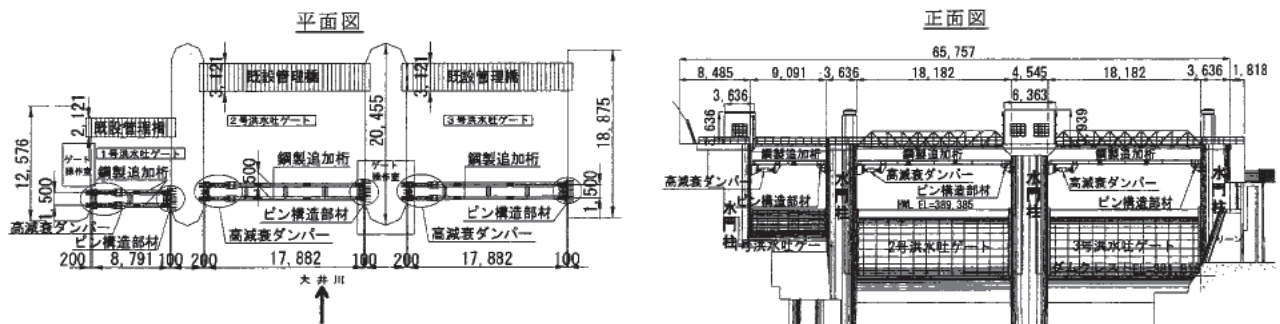


図-2.1.5 高減衰ダンパー設置による耐震裕度向上事例（事例シート1-4）

火力の耐震性向上事例における液状化対策工法の1例として、サンドコンパクションパイル(SCP)工法と浸透固化注入工法の施工例を写真-2.1.1、図-2.1.6に示す。

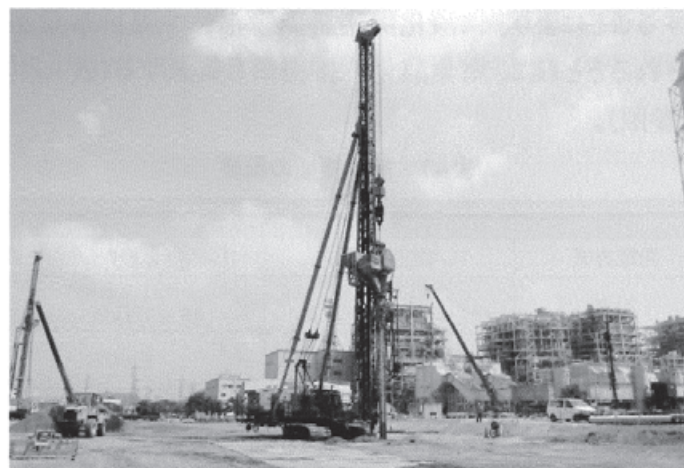


写真-2.1.1 サンドコンパクションパイル工法の施工状況（事例シート2-10）

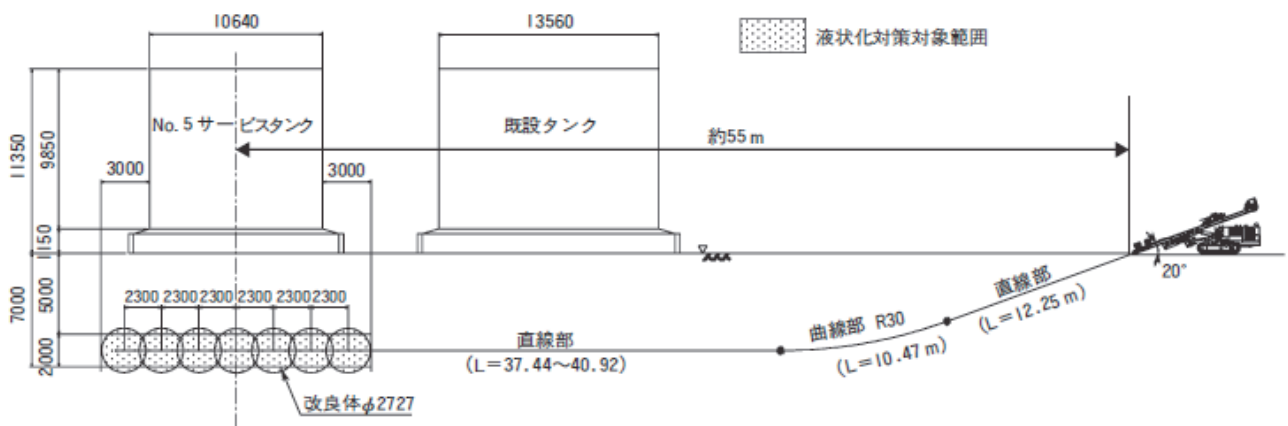


図-2.1.6 曲線ボーリング削孔による浸透固化注入工法の事例（事例シート2-13）

原子力の耐震性向上事例の1例として、発電所防波壁設置工事例を図-2.1.7 および写真-2.1.2 に示す。本工事は、津波対策として所要の高さを有する強固な壁を構築する工事で、標準部の構造として基礎部を鉄筋コンクリート造の地中壁とし、壁部は鋼殻と鉄骨・鉄筋コンクリートの複合構造によるL型壁としている。

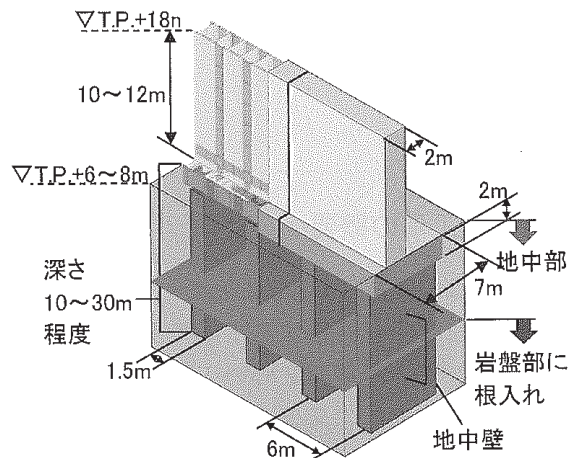


図-2.1.7 防波壁の標準構造図（事例シート3-4）

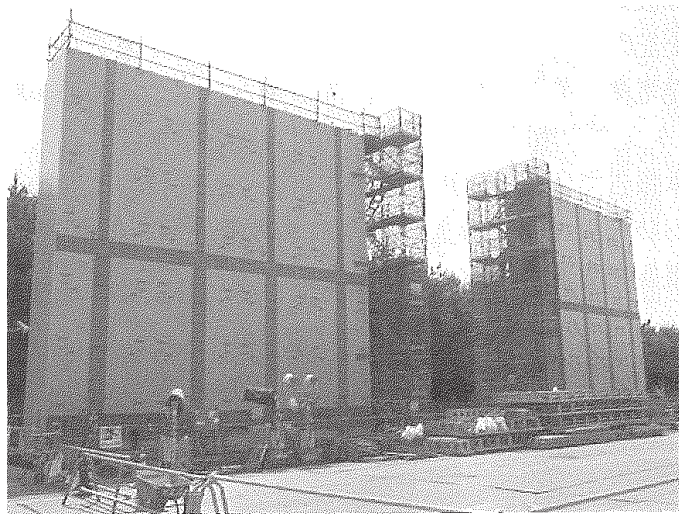


写真-2.1.2 防波壁(たて壁)設置状況（事例シート3-4）



また、配管ダクト周辺等の地盤改良工法事例の一例として、高圧噴射攪拌工法の概念図を図-2.1.8 に示す。

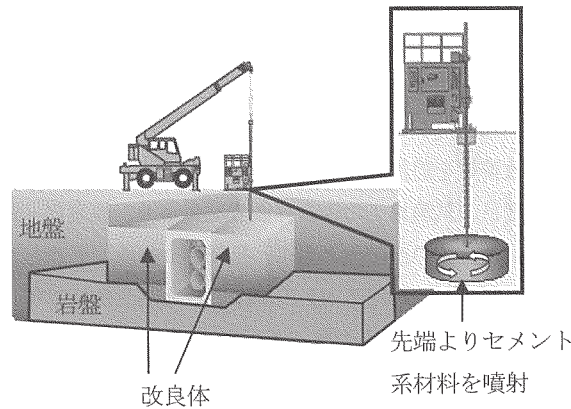


図-2.1.8 高圧噴射攪拌工法の概念図（事例シート3-3）

送変電の耐震性向上事例の1例として、送電鉄塔の基礎補強工事例を図-2.1.9 に示す。本工事は、小口径鋼管杭を基礎の脇に2本もしくは4本配置し、この杭をH鋼で鉄塔部材と繋いで基礎補強を行った事例である。

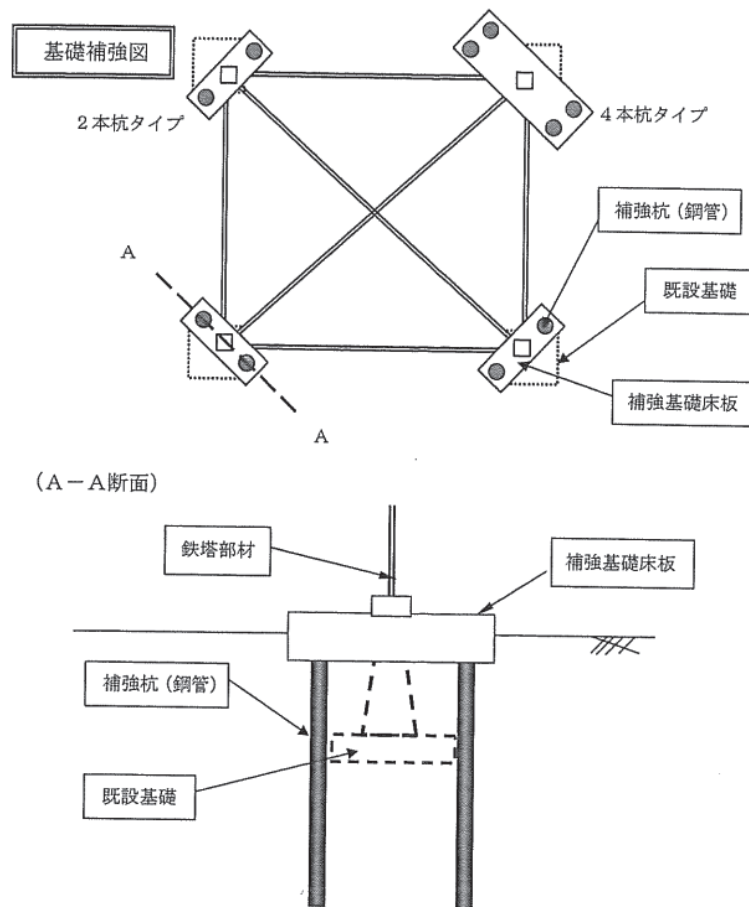


図-2.1.9 鉄塔基礎補強事例（事例シート4-2）

また、水管橋等の専門橋における耐震性向上事例として、落橋防止装置、免震支承の事例を図-2.1.10 および写真-2.1.3 に示す。

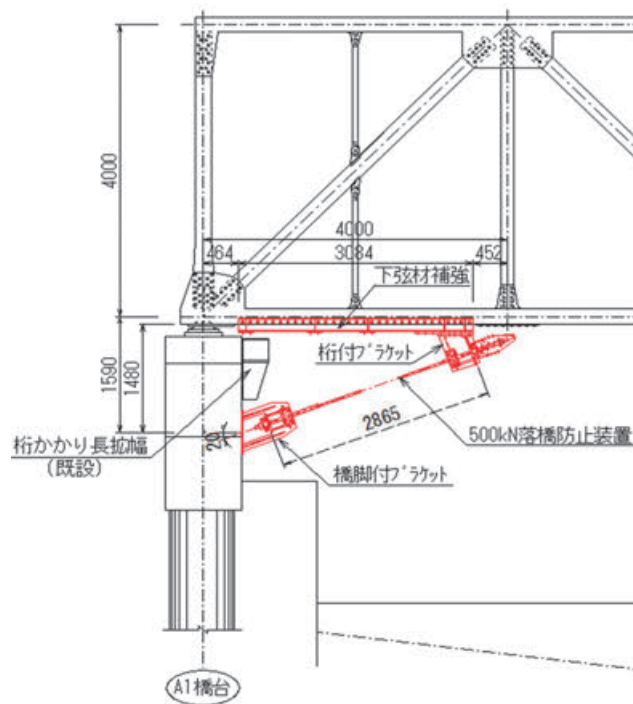


図-2.1.10 落橋防止装置配置事例（事例シート4-4）



写真-2.1.3 免震ゴム支承の設置事例（事例シート1-3）

なお、当該事例調査の対象外ではあるが、耐震性向上事例の関連情報として、断層直上に建設された海外ダムの耐震対策事例を表-2.1.6 に示す。また、アラスカ横断石油パイプラインの活断層対策事例を図-2.1.11 に示す。本事例は、建設から30年後の2002年11月3日M7.9 Denali Fault 地震で3m以上パイプの水平ずれがあったが、あらかじめ設けられたレール上を滑り破壊されずに守られた事例である。さらに、各種構造物における免震工法事例を図-2.1.12～図-2.1.15 に、カルバート側壁部分等の鉄筋コンクリート造の面部材のせん断耐力増強工法の一例を図-2.1.16 に示す。

表-2.1.6 海外における断層直上に建設されたダム耐震対策事例<sup>1)</sup>

ダム名	所在国	ダム形式	堤高	建設年	断層の概要	耐震対策
Coyote 1), 6)	USA カリフォルニア	ゲーン型 アースフィルダム 農業用水	43m	1936	Calaveras 断層の分岐断層の直上に位置 予測変位量：水平 4.5m 鉛直 1.2~1.5m, 開口 0.3m	中央部のアースコアを著しく厚く設計。コアの外側を砂礫(3~27m 厚)で覆う設計。1936 年当時に建設前に耐震対策を実施。
Morris 1)	USA カリフォルニア	コンクリート 重力式ダム 都市用水	99m	1934	San Andreas 断層と Sierra Madre 断層の中間部に位置 ダムサイトで微小地震発生	断層の直上部に特殊ジョイントを配置(0.9m の走向方向変位に対応できる設計)
Palmdale 1)	USA カリフォルニア	アースフィルダム 都市用水 農業用水	9.6m (旧) 15.3m (新)	1891 1967 (改修)	San Andreas 断層直上 1955 年に安全再評価 予測横ずれ：6.1m 以上 予測鉛直変位：0.6~0.9m	横ずれ 9m, 鉛直変位 1.5m に対応できるように、センターコアを厚くした。トランジションゾーンには粘着性のない砂礫を使用。
Cedar Springs 1), 6)	USA カリフォルニア	ロックフィルダム 都市用水 農業用水	76m 原設計 102m	1972	San Andreas 断層より 8km の場所に分布 予測垂直変位：0.9~1.5m	ダム高を極力低くした。コアに特別に細粒の粘土を用いて遮水性と耐侵食性を改善。
Auburn 5)	USA カリフォルニア	アーチダム 設計段階	213m	未解決	Bear Mountain 断層 予測変位量：0.9m (USGS)	ダム形式を問わず、次の要件を州当局が決定。①M6.5 の直下地震に耐える。②基礎岩盤に 0.13m の変位が生じても安全性が確保される。
Los Angeles 1)	USA カリフォルニア	ゲーン型 フィルダム	39.6m	1977	San Fernando 断層の活動に伴い断層がダム基礎に生じると予測。予測垂直変位量：最大 2.7m, 1.4m の急激な変位を想定	粘着力を全く持たない鉛直ドレーン層により、変位追従を可能とした対策工を実施
Clyde 2)	ニュージージー ランド	コンクリート 重力式ダム 発電	102m	1989	Dunstan 断層(左横ずれ断層) 許容最大水平変位：2m 許容最大鉛直変位：1m	堤体に特殊ジョイントを採用(スリップジョイント)
Steno 9)	ギリシヤ	アーチダム	185m	計画中	Steno 断層 最大数十 cm の変位を予測 50km 以内で M6.5 の地震	堤体に特殊ジョイント(鉛直および水平) 最大 1m のズレに対応可能

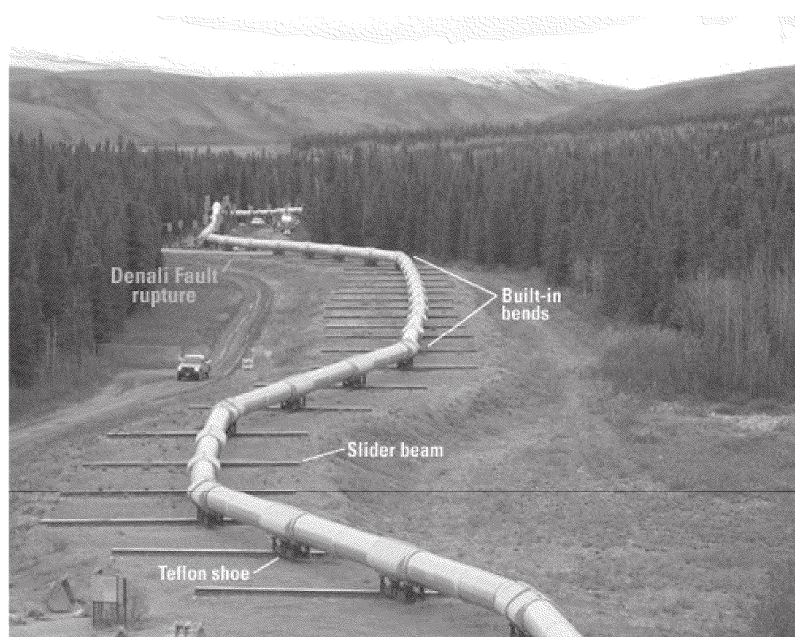
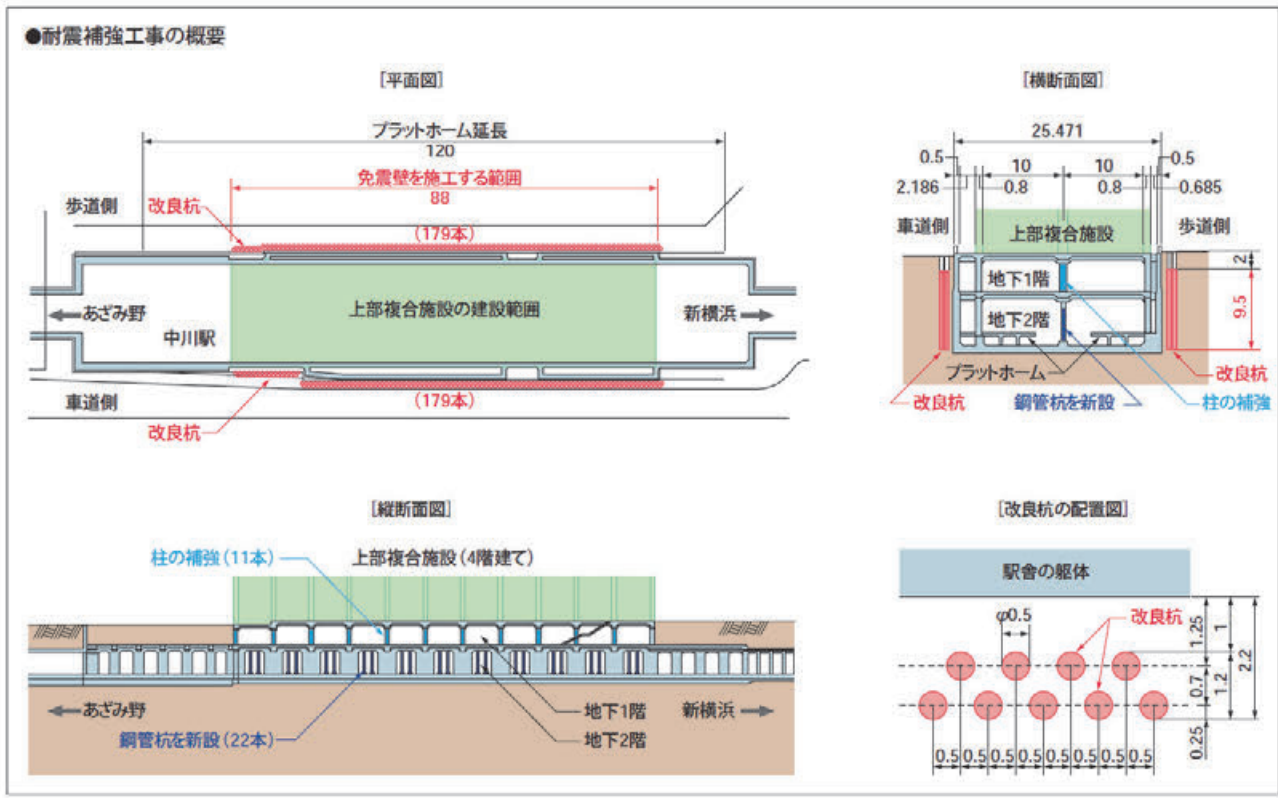


図-2.1.11 アラスカ横断石油パイプラインの活断層対策事例<sup>2)</sup>



**設計の要点** 幅が20cm以上あれば耐震性能を発揮

ポリマーを用いた地下構造物の耐震補強工法は従来の鋼板を躯体にアンカーで固定して補強する方法に比べて、コストと工期ともに2分の1程度に削減できる。開発当初は、躯体の両側にポリマーの壁を築くという方法だった。しかし、中川駅の場合は作業スペースが狭く、壁を築く施工機械を採用できないことから杭に変更した。

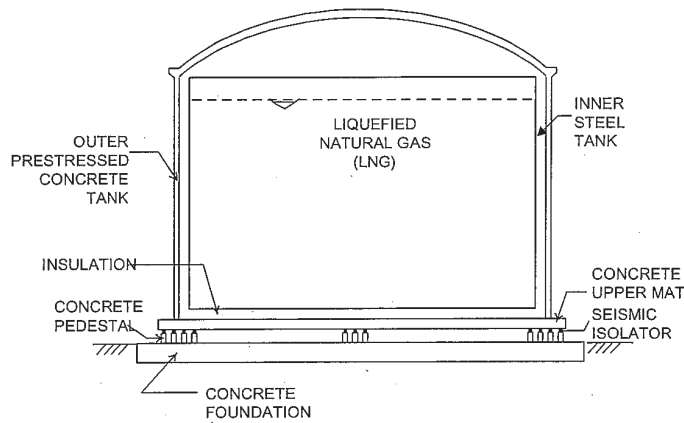
設計のポイントは3点。壁の幅とポリマーの軟らかさ、躯体からの距離だ。

幅は20cm以上あれば十分耐震性能を発揮する。中川駅の場合は壁厚に換算すると約50cmになるが、施工機械の能力によって直径を決めた。軟らかさは、剛性比が地盤の50分の1から100分の1まで。添加剤の量によって調整する。距離は躯体から2m以内であればよい。中川駅の場合、1mとしたのは、躯体の壁面付近に建設当時の矢板などが地中に残っているからだ。

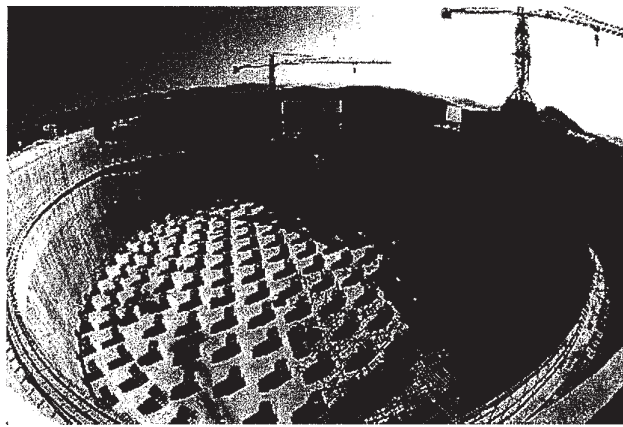
(関連記事：2005年1月14日号60ページ)



図-2.1.12 開削トンネルの免震工法（横浜市営地下鉄中川駅の耐震補強事例）<sup>3), 4)</sup>



(a) 概略図



タンク容量 : 65,000m<sup>3</sup>  
 タンク径 : 65.7m  
 タンク高 : 22.5m  
 免震装置 : 212 個  
 変形性能 300mm

(b) 施工中の LNG タンク (ギリシャ)

図-2.1.13 免震装置に支持された LNG タンク<sup>5)</sup>

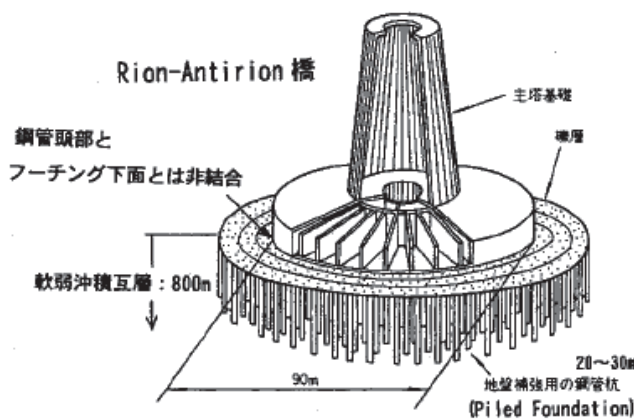


図-2 主塔基礎と鋼管杭による地盤補強

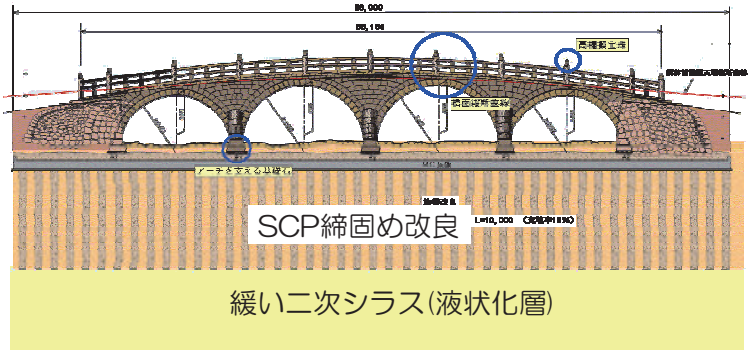
免震効果

- ① グラベルとケーソン間の滑動 (2m を許容)
  - ② ケーソンの浮上がり
  - ③ 軟質地盤の非線形化
- ・ ローコスト (1/3~1/4 に削減)

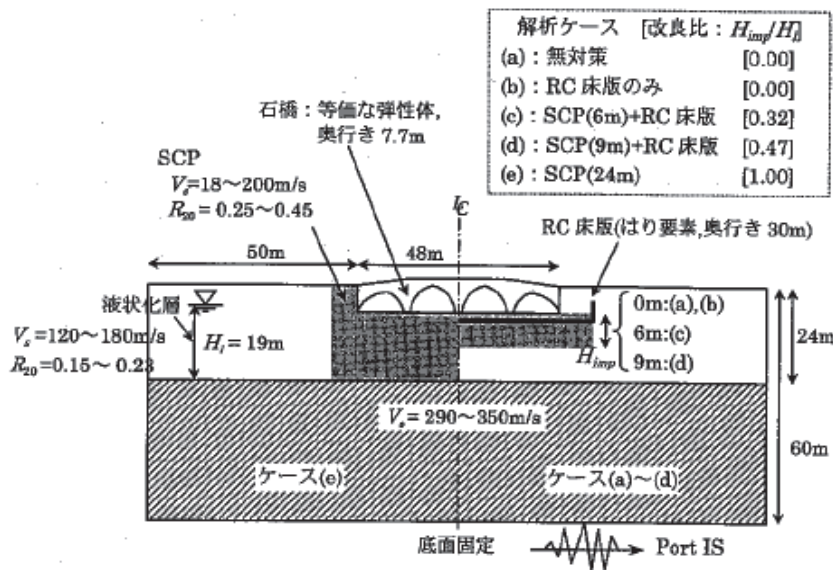


図-3 主塔基礎とオールフリー構造

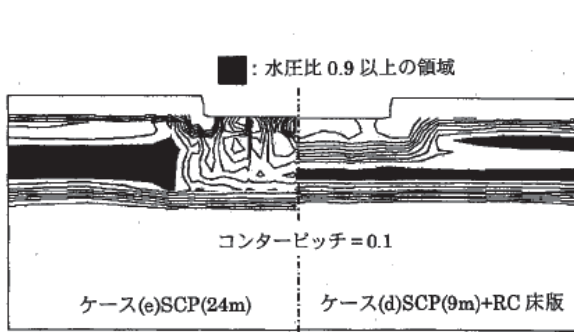
図-2.1.14 地盤・基礎免震 (Rion-Antirion 橋(ギリシャ))<sup>6),7),8),9)</sup>



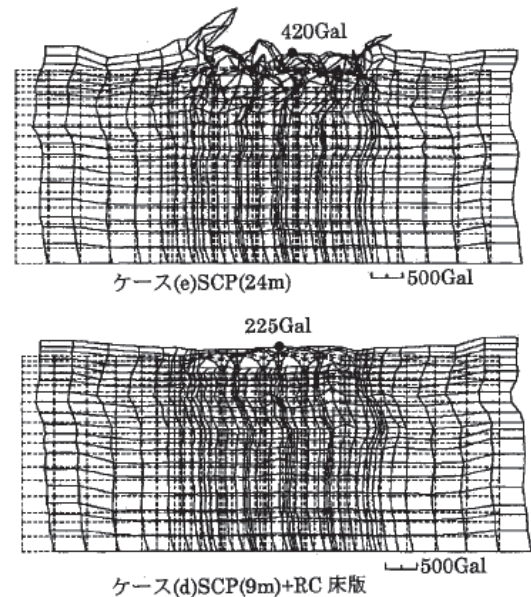
(a) 西田橋（石橋）全景・正面図



(b) 有効応力解析条件（半分を表示）と解析ケース



(c) 加振終了時における過剰間隙水圧分布



(d) 最大加速度分布

注) 検討の結果、液状化層全層を SCP 改良せず、一部液状化層を残すケース(d)を採用。

図-2.1.15 液状化免震工法（西田橋（鹿児島県）の移設工事）<sup>10),11)</sup>

- ・適用構造物：新千歳空港の地下道
- ・構造物の所在：北海道千歳市
- ・耐震補強箇所：2連ボックスカルバートの側壁および中壁，施工延長 326m
- ・適用された工法：Post-Head-bar 工法
- ・特記事項：1979年に設計された構造物で，耐震診断の結果，レベル2地震動により中壁および側壁がせん断破壊する判定結果となった．地下道内空の建築限界を超えずに必要なせん断耐力を確保できる Post-Head-bar 工法が採用された．施工する鉄筋本数は 12,288 本．寒冷地での適用であり，充填材の施工のために防寒養生の方法が新たに考案された．

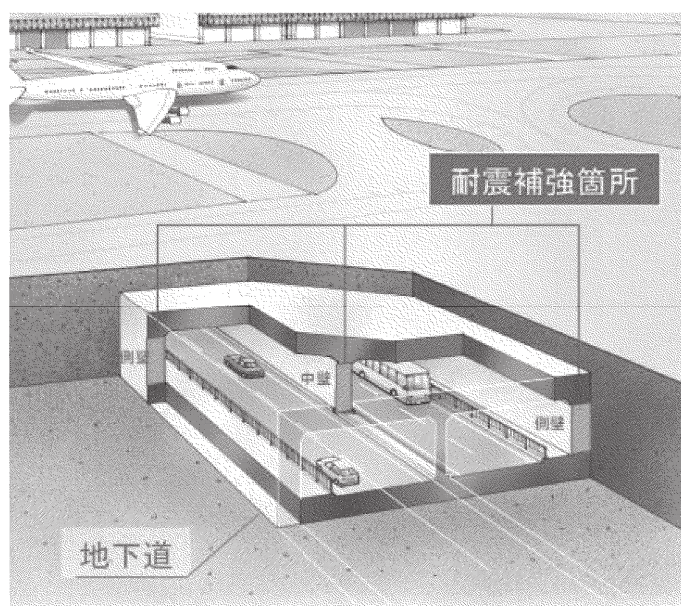
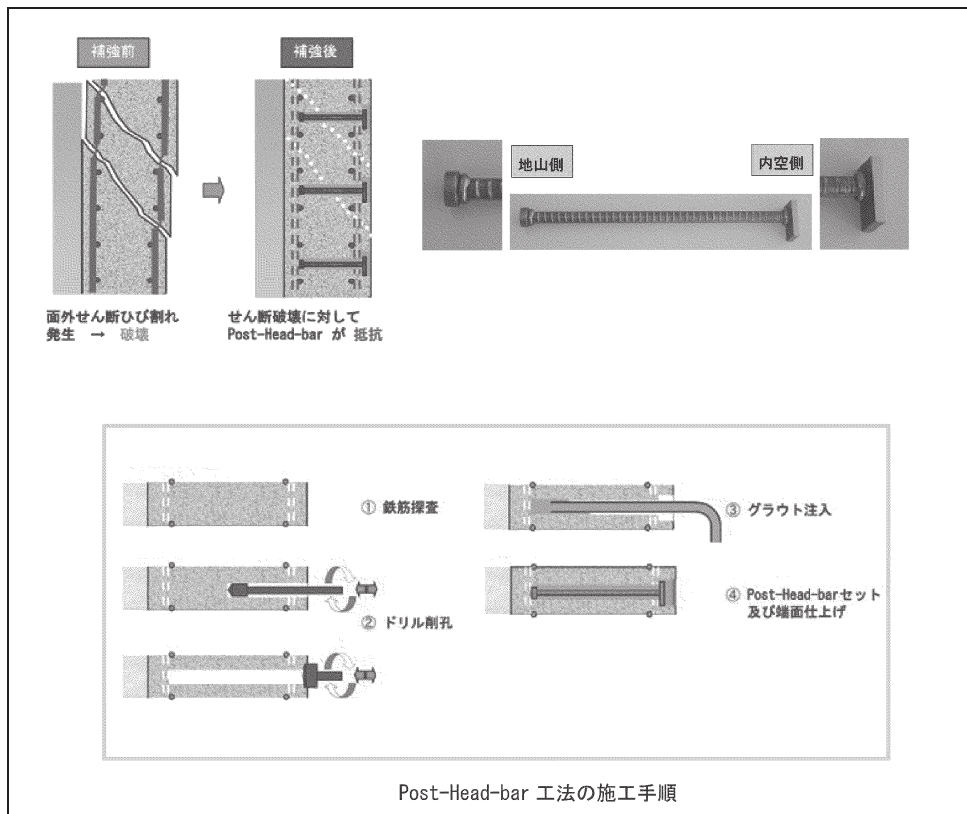


図-2.1.16 カルバート地下構造部のせん断補強工法（新千歳空港地下道の耐震補強事例）<sup>12),13),14)</sup>