

第1章 電力土木構造物の特徴

1.1 電力施設整備の歴史

(1) 施設の変遷

戦前から戦後の1960年代前半までの水力発電を中心とする電力施設は、1970年代の高度成長期とともに火力、原子力発電にそのウェイトを移し現在に至っている。また、発電方式も利用エネルギー資源の安定的な調達や地球環境対策、ピーク電源への対応などから多様に変化してきている。以下では、戦後急速に増大してきた発電量の推移を示すとともに、これに対応して建設されてきた火力、水力、原子力発電施設の整備の歴史を概観する。

a) 発電設備、発電量

図-1.1.1は、戦後の電力設備容量の推移¹⁾を表したグラフである。1963年度に初めて火力発電設備出力が水力発電設備出力を上回り、いわゆる「火主水従」の発電形態に移行した。その後の電源開発は、石炭火力から石油火力への転換により、大容量・高効率の石油火力発電所を中心に進められてきた。

しかし、1973年度の第1次石油ショックを契機として、石油代替電源の開発が積極的に進められ、2012年度末の発電設備容量の構成は、原子力18.7%、石炭火力15.7%、水力8.4%、LNG火力27.1%、石油等火力18.8%となっている。

図-1.1.2は、戦後の発電電力量（一般電気事業用）の推移¹⁾を表したグラフである。上記と大きく変わるところは、2012年度の発電電力の構成割合は2011年3月11日の東日本大震災以降、地震と津波で発電所などの電力設備が被害を受けたことや福島第一原子力発電所事故後に日本国内の原子力発電所が安全審査のため停止していることなどによって、原子力1.7%、石炭火力27.6%、水力7.5%、LNG火力42.5%、石油等火力18.3%となっている。

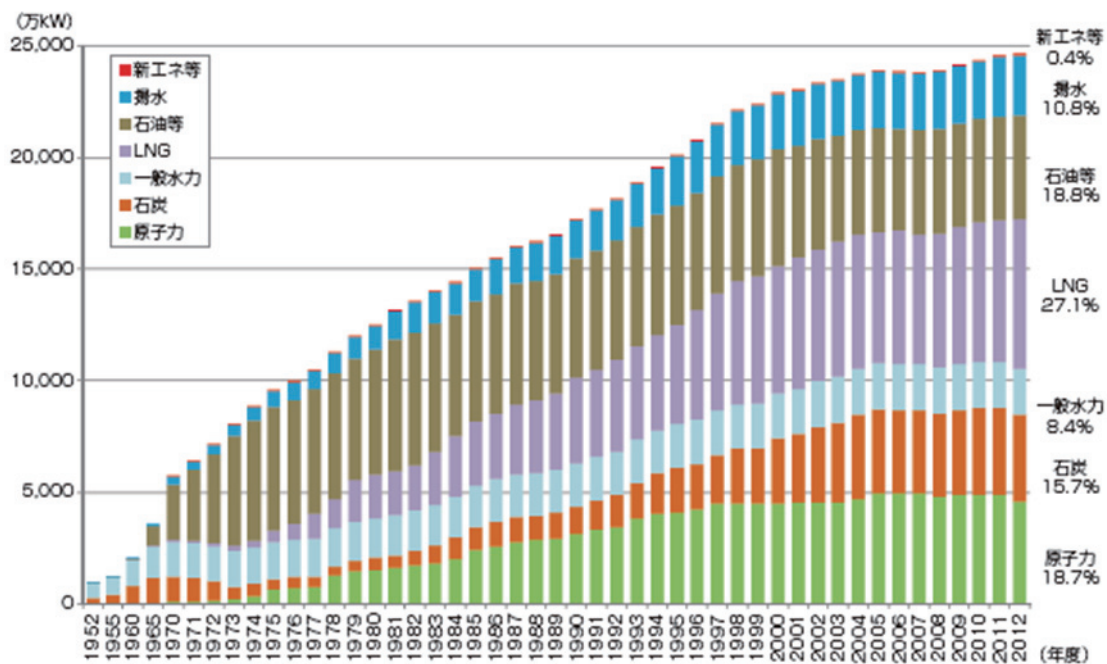


図-1.1.1 戦後の電力設備容量の推移¹⁾

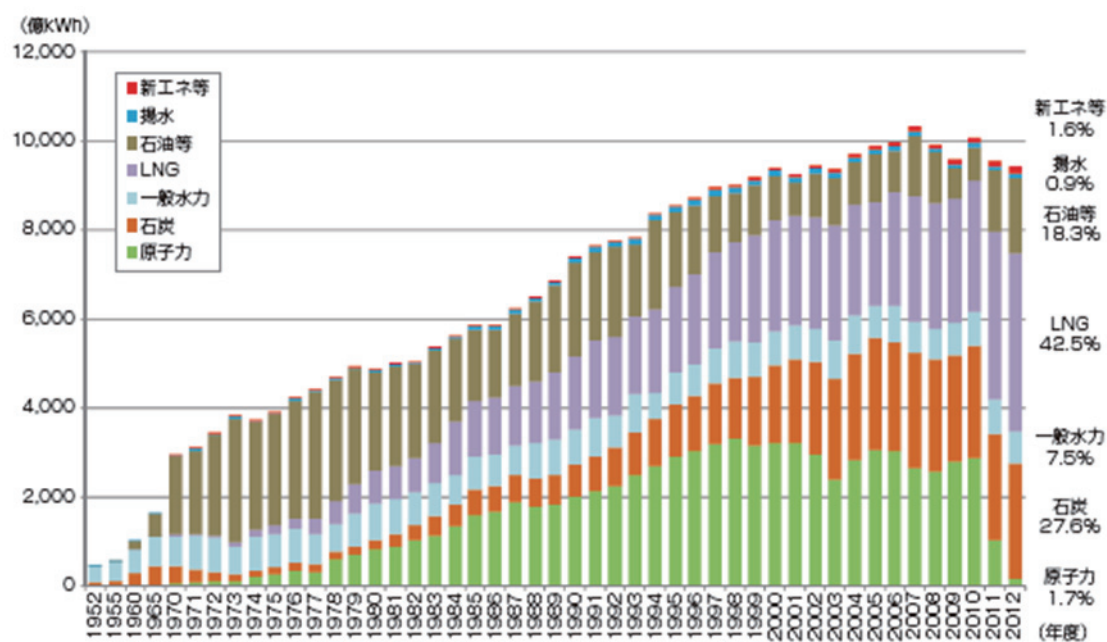


図-1.1.2 戦後の発電電力量の推移¹⁾

b) 水力

水力発電は、戦前から開発が行われてきており、特に1970年代～1980年代にかけて大規模な水力発電施設が建設された。しかし、大規模発電に適した水源はほぼ開発し尽くされ、現在は水力発電が純国産エネルギーであることから、電力の安定的な供給を目的として中小発電を中心に整備が進められている。また、同時に戦前・戦後に建設された中小発電所の改修も進められている。

水力発電施設整備の歴史のなかで特筆されるのは、揚水式発電の整備である。1970年代後半より出力の調整が難しい原子力発電の調整用電力として、夜間に揚水・貯水し昼間のピークに合わせて発電を行う大規模な純揚水発電所が建設されてきた。ダムへの堆砂問題も発電容量を維持していくための喫緊の課題となっている。このため、排砂トンネルの設置や貯水量を増大させるためのダムの嵩上げ工事も精力的に進められている。

水力発電所施設としては、流れ込み式、調整池式、貯水池式、揚水式などの発電所形式に応じて、貯水ダム、取水ダム、取水口、導水路、水圧管路、発電所、放水路、放水口などの土木構造物が設けられている。また、水圧管路の手前及び発電所の後方には必要に応じて、サージタンクやヘッドタンクなどの特殊な施設が設置されている。いずれの施設も高い安全性を要求されており、そのための維持管理がなされている。

c) 火力

1950年代半ばより各電力では、石炭を燃料とする火力発電所の建設が始まり、1960年代になると重油専焼の発電所が建設されるようになった。続いて、1970年代には、LNGを燃料とする発電所が建設され始め2000年頃にかけて発電方式の中心となっていく。一方、エネルギーの多様化を目指す国の施策を受け、1980年代になると、電源開発(株)を中心に、海外炭を利用した大型の石炭火力発電所の建設が2000年以降も進められている。また、火力発電施設は、コンバインドサイクル発電など発電効率の高い技術の開発を背景に、改築、増築が行われてきている。

一方、施設面では、国内における火力発電所は、ほとんどが沿岸立地となっている。このため、復水

器などの冷却水のための取水口、放水口は海域構造物として設置されてきた。また、同様に取水路、放水路も海水の影響を受ける構造物となっている。この他、付帯施設として、燃料を受け入れるための栈橋や護岸などの港湾構造物や燃料を貯蔵するための重・原油タンク、LNG タンク、石炭サイロ、200mクラスの超高煙突などの特殊構造物も併設されてきた。

2011年以降の原子力発電の稼働停止に伴い、老朽化により停止していた火力発電（以下、老朽火力）を再開する動きが顕著になっており、2013年には老朽火力の割合は石油34.5%、石炭6.8%、LNG18.1%に達している。

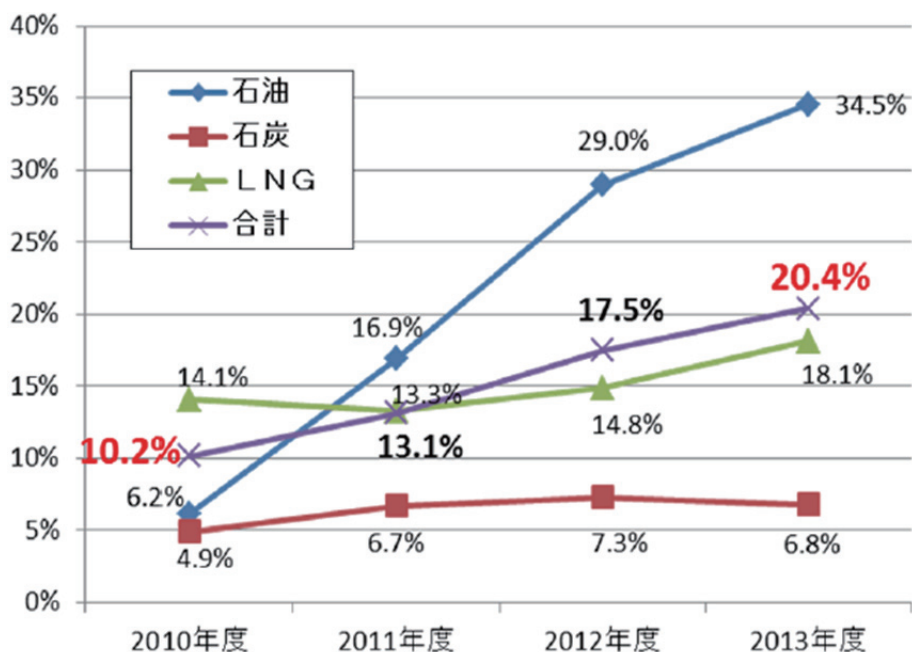


図-1.1.3 老朽火力割合の推移（設備容量（kW）ベース）¹⁾

d) 原子力

我が国の原子力開発は、1955年に原子力基本法が制定されて以来、既に50年以上が経過している。1966年には初の商業用原子力発電所である日本原子力発電東海発電所（16.6万kW）が営業運転を開始し、その後、電力各社による建設が行われた。現在、発電方式としては、経済性や安全性から軽水炉の2つのタイプとして沸騰水型原子炉（BWR）と加圧水型原子炉（PWR）が使われている。前者は東京電力を中心に、後者は関西電力を中心に採用されている。なお、増え続ける使用済み核燃料に含まれるプルトニウムの処分方法とウランの輸入量を減らすための解決策として、高速増殖炉計画やMOX燃料によるプルサーマル計画が進められてきた。

原子力発電施設は、大量の冷却水を使用するため、火力発電と同様に我が国では殆ど沿岸立地となっている。また、一般構造物に比べ厳しい耐震基準が課せられ、主要な構造物は岩盤に支持させている。重要土木構造物として耐震設計が義務づけられているものには、非常用炉心冷却装置等を冷却するためのスクリーン室、取水路および冷却水送水用ダクトなどがあり、この他、放射性廃棄物を処理するためのダクト、復水貯蔵タンクなどの1次系水タンクもこれに含まれる。

しかし、現在、2011年の東日本大震災後に発生した東京電力福島第1原子力発電所での原発事故を契機とする安全対策の実施や緊急点検のため、2014年末時点では全原子力発電所が停止している。

(2) 補修・補強の変遷

電力施設の補修・補強の変遷は、火力、水力、原子力など施設の相違により改修・改築の歴史が異なるため、内容には大きな差異がある。以下、それぞれの施設について概観する。

a) 水力

水力発電所は、戦前に建設されたものも多く、長期にわたって供用されてきているものも多い。このため、更新や補修・補強の歴史は、火力発電施設に比べ長い。特に、ダム、取水設備では、中性化、凍害、摩耗、ASR などの経年による劣化への対応に技術的特徴がある。また、ゲート部など機械設備との間の局部的損傷への対応に特徴が認められる。一方、水路トンネルでは、摩耗、覆工背面の空洞対策、荷重増大による変状対策などが補修・補強の対象となることが多い。

b) 火力

火力発電所施設は、発電用エネルギーの転換、タービン等の性能向上に併せて施設の更新が行われてきており、補修・補強もこうした施設の更新を考慮して実施されてきている。また、阪神淡路大震災後の耐震基準の改訂により耐震性確保のための補強工事も近年積極的に進められてきている。一方、コンクリート構造物の補修に関しては、我が国の火力発電のほとんどが海岸立地のため、栈橋などに対する塩害対策や取・放水路の海洋生物付着への対策などに技術的特徴がみられる。また、煙突、石炭サイロ、タンクなどの特殊構造物についても、構造物固有の点検、補修対応が取られている。

c) 原子力

多くの原子力発電所は、1970年代半ばより運用が開始され比較的供用期間が短い。このため、現状では原子力土木施設の補修・補強への対応は多くないが、今後そのニーズは高まっていくものと思われる。但し、補修・補強の内容については火力発電所施設にほぼ準ずるものと考えられる。一方、2011年に発生した原発事故を契機として、安全性の見直しや災害発生時の対策として、各発電所では耐震性の改善に向けた対応が図られている。

d) その他

電力洞道、鉄塔などの送電施設についても、構造物の立地の特性から塩害、凍害、経年劣化などへの対応が図られるとともに、耐震性向上のための対策も並行して行われている。

1.2 電力施設の特徴

電力の施設は、山間部、海岸部、都市部と多岐にわたって存在しており、その量は膨大である。例えば東京電力の送配電設備の概略は、表-1.2.1のとおりである。このように電力施設は、日本国土のあらゆる箇所において、様々な使用・環境条件で供用されている。

表-1.2.1 電力設備の現状（東京電力の場合）³⁾

項目	現状
水力発電	164 箇所、945 万 4,390kW（2013 年 4 月 1 日現在）
火力発電	25 箇所、4,364 万 2,520kW（緊急設置電源 8 万 6,600kW を含む。関連会社経営の発電所を除く）
原子力発電	発電所 3 箇所
送電線	架空 28,492 km, 地中 12,067 km
地中線	延長約 37,091 km
変電設備	1,579 箇所

また、表-1.2.1 中の水力発電および火力・原子力発電所において、数多くの施設から構成されトータルの発電システムが成り立っている。図-1.2.1 に水力発電の構成施設、図-1.2.2 に火力（汽力）の構成施設の概念図を示す。なお、原子力発電所も汽力発電の一種であり、タービン以前の施設形態が原子力建屋、原子力補助建屋に変わると考えればよい。

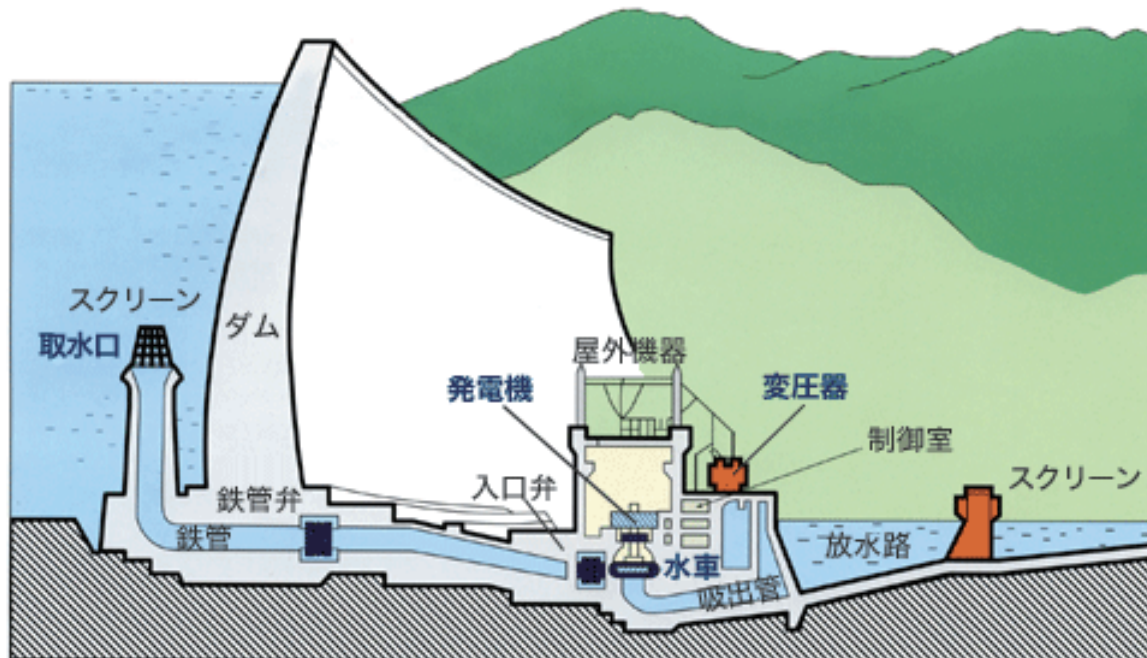
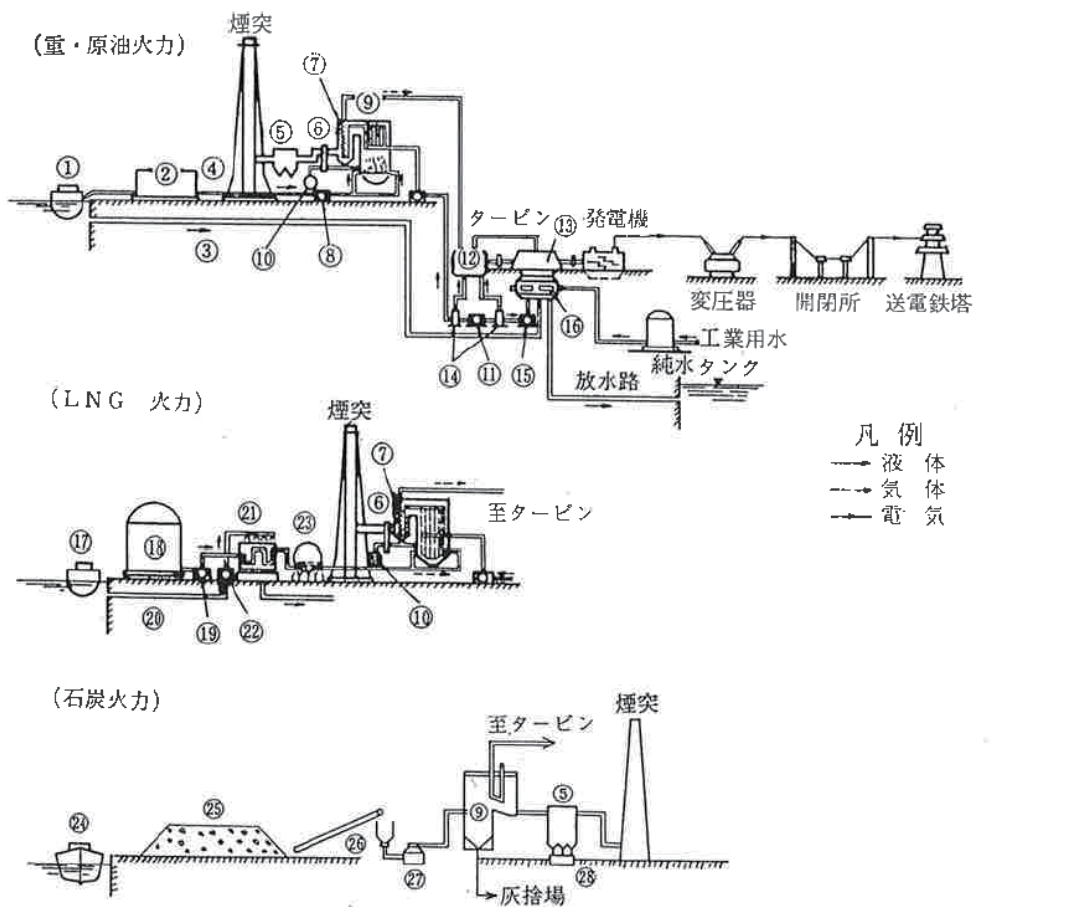


図-1.2.1 水力発電の構成施設¹⁾



- | | | | |
|------------|-------------|------------|---------------|
| 1 油タンカ | 2 貯油タンク | 3 取水器 | 4 送油管 |
| 5 集塵器 | 6 空気予熱器 | 7 過熱器 | 8 送油ポンプ |
| 9 ボイラ | 10 押し込み通風器 | 11 給水ポンプ | 12 高圧タービン |
| 13 低圧タービン | 14 給水加熱器 | 15 復水ポンプ | 16 復水器 |
| 17 LNG タンカ | 18 LNG タンク | 19 LNG ポンプ | 20 海水取水器 |
| 21 気化器 | 22 海水取水器 | 23 ガスホルダ | 24 石炭船 |
| 25 貯炭場 | 26 払出石炭コンバヤ | 27 微粉炭機 | 28 フライッシュ回収装置 |

図-1.2.2 火力発電の構成施設例⁴⁾

図-1.2.2のように電力施設には多種多様の施設より構成されており、多くの土木コンクリート構造物が存在していることが分かる。これらの図を参考として水力、火力/原子力および送電設備における代表的あるいは特有な土木コンクリート構造物を抽出すると表-1.2.2のとおりとなる。

なお、火力/原子力発電所には、護岸および栈橋等のコンクリート構造物も存在するが、ここでは港湾構造物として区別し、対象外としている。

表-1.2.2 電力施設に特有な土木コンクリート構造物

施設	構造物
水力	①ダム本体 ②取・放水設備 ③水路トンネル ④発電所施設
火力/原子力	①取・放水施設 ②機械等基礎 ③煙突、サイロ、タンク
送電設備	①鉄塔基礎 ②洞道

1.3 電力施設の維持更新の実態

日本建設業連合会の各社に対し電力土木構造物のコンクリート構造物に関して健全性調査、診断、補修等に関するアンケートを実施した結果、27社より91件の回答が得られた。以下では、アンケートより得られた電力施設の維持更新の実態について述べる。なお、アンケートの結果は巻末資料に示すとおりである。

(1) アンケートの対象と内容

a) アンケートの対象

アンケートの対象とした技術は、下記のとおりである。

- ・電力施設への適用実績がある技術
- ・電力施設への適用実績はないが紹介しておきたい技術

アンケートは、あらかじめ設定した事例シートを用いて行った、実績のある技術は事例シート（実績あり）に、実績のない技術は事例シート（電力施設への適用が可能な技術）に記入している。また、収集した事例シートの記載内容については、発注者の事前確認を行って実施した。

一方、今回対象とした技術は、電力施設への適用実績の有無にかかわらず、水力、火力/原子力、送変電設備等におけるコンクリート構造物に対して適用可能なものとしている。ただし、劣化現象に伴う機能更新（嵩上げや発電機・ゲートなど取替え等）のための改修においては、鋼構造物自体は対象としなが、同時に実施するコンクリート工事あるいは調査技術、コンクリート面処理技術、新旧一体化技術、はつりや解体技術などの要素技術は事例の対象とした。また、耐震補強については、構造物の劣化あるいは被災による補修・補強を対象とし、耐震性向上などへの適用については対象外とした。仮設備工事、地盤や基礎に関する事例も、対象外とした。

b) アンケートの内容

事例アンケートの記載内容、記載方法は、以下のとおりとした。

- ① 名称：使用した技術の具体的な技術名称とする。
- ② 工事名称：正式な名称あるいは①構造物＋②劣化・損傷原因＋③事例の内容の組み合わせで表現する（順不同）。たとえば、「水圧管路固定台に生じたアルカリ骨材反応によるひび割れの調査および補強工事」などとする。
- ③ 企業者名等：電力会社名が原則であるが、適用が発電施設の場合には電力会社に制限しない。
- ④ 区分：入力欄をクリックし、表示される以下のドロップダウンリストの中から選定する。複数回答は可とする。

表-1.3.1 区分の分類

調査	診断・評価	補修	補強	更新・改修	その他
----	-------	----	----	-------	-----

- ⑤ 土木施設区分：区分と同様の方法で、該当する施設を選択する。

表-1.3.2 土木施設区分

水力発電	ダム本体	取・放水施設	水路トンネル	発電所	その他	
火力/原子力	港湾	栈橋	取・放水施設	機械基礎等	煙突・サイロ・タンク	その他
送変電設備	送電鉄塔基礎	変電所基礎	地中送電洞道	その他		

⑥ 劣化損傷原因：区分と同様の方法で、該当する施設を選択する（複数回答可）。

表-1.3.3 劣化損傷原因

塩害	中性化	凍害	ASR	化学的腐食	疲労	熱作用	すりへり
漏水	鋼材腐食	物性不良	空洞	生物付着	液状化	その他	

⑦ 適用対象

<調査診断評価>：区分と同様の方法で、該当する施設を選択する（複数回答可）。

表-1.3.4 調査診断評価項目

はく離	ひび割れ	部材厚さ	内部欠陥	コンクリート強度	透水性	コンクリート配合	中性化深さ
塩分含有量	凍害	ASR	化学的腐食	変位変形疲労	鉄筋位置	鉄筋腐食	その他

<補修>：区分と同様の方法で、該当する施設を選択する（複数回答可）。

表-1.3.5 補修の項目

注入・充てん	表面保護	断面修復	防錆	その他
--------	------	------	----	-----

<補強>：区分と同様の方法で、該当する施設を選択する（複数回答可）。

表-1.3.6 補強の項目

部材交換	断面追加	部材の追加	支持点追加	補強材追加	PS導入	その他
------	------	-------	-------	-------	------	-----

<更新>：項目の指定はなし。自由記載とする。

⑧ 事例の概要：事例の概要として、次の項目を示す。

- ・ 構造物の置かれた環境条件
- ・ 劣化・損傷状況等の概要
- ・ 採用した技術の特徴と概要
- ・ 実施工事内容の概要やスケジュールなど
- ・ 工法を選定したプロセス

⑨ 比較対象とした材料や技術：適用に当たり比較検討した類似の材料や工法などの技術とその比較項目を示す。

⑩ 選定理由：紹介する技術を選定した理由を示す（環境条件、劣化条件、要求品質、施工性、経済性）。

⑪ 効果：適用技術の効果あるいは担当者の評価を示す。

⑫ 公表の有無：公表された事例なら出典先を示す。

⑬ 企業者の承諾の要否：必須事項とする。

(2) 電力施設への適用実績がある技術の集計結果

31 事例において適用実績がある土木施設の区分は、水力発電施設が 26 例 (40%)、火力/原子力発電施設が 25 例 (38%)、送变电設備が 14 例 (22%) と偏りのない実績が集計された。

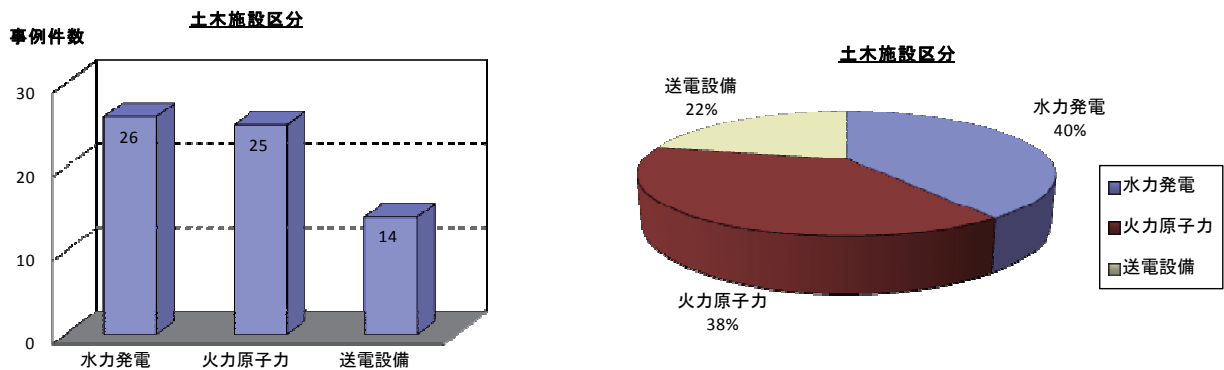


図-1.3.1 土木施設への適用区分

水力発電施設の区分においては、ダム本体 5 例 (22%)、取・放水施設 7 例 (27%)、発電所 4 例 (17%)、水路トンネル 10 例 (38%) となり、水路トンネルに対する技術が比較的多く適用されている。

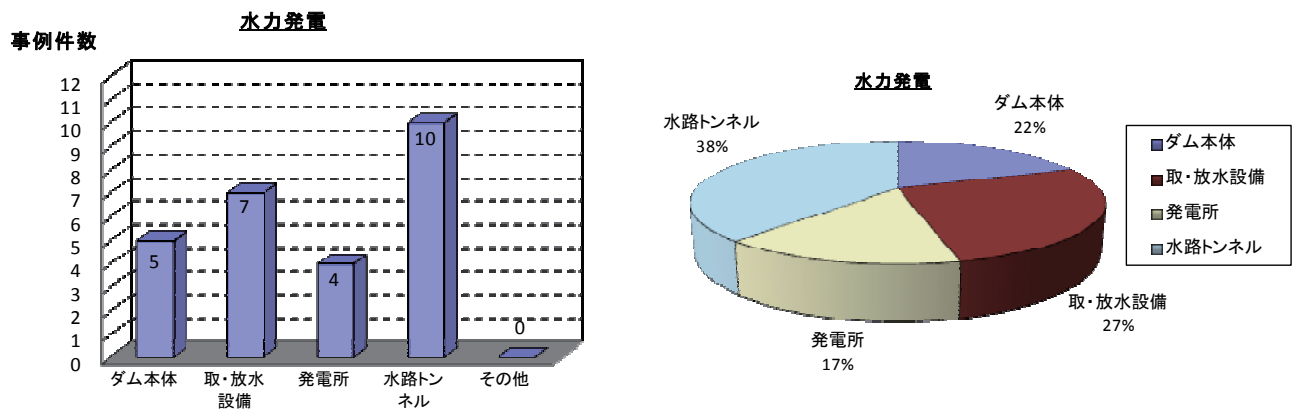


図-1.3.2 水力発電施設への適用区分

火力/原子力施設においては、取・放水路 9 例 (36%)、港湾 7 例 (27%)、栈橋 5 例 (23%)、その他 4 例 (14%) となっている。

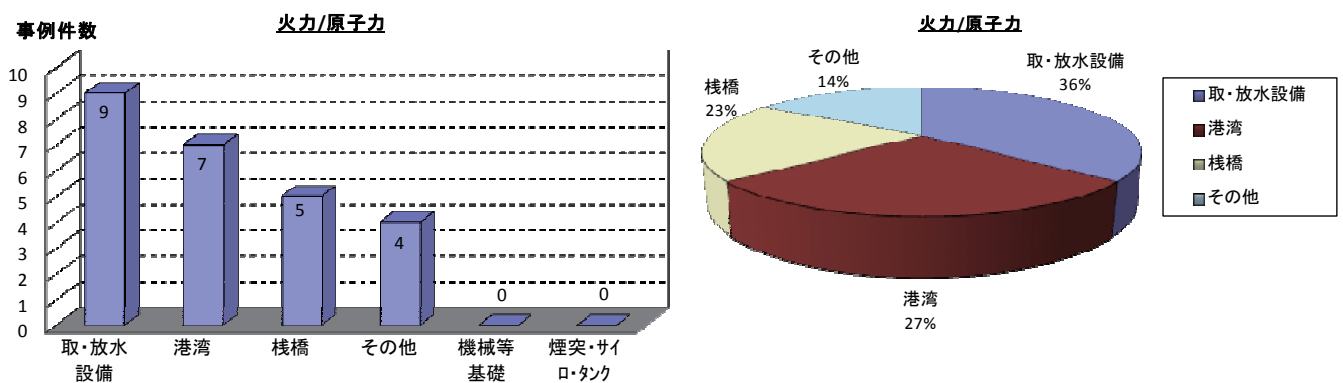


図-1.3.3 火力/原子力発電施設への適用区分

送変電設備では、送電鉄塔基礎 3 件 (21%)、変電所基礎 5 例 (36%)、地中送電洞道 6 例 (43%) となっている。

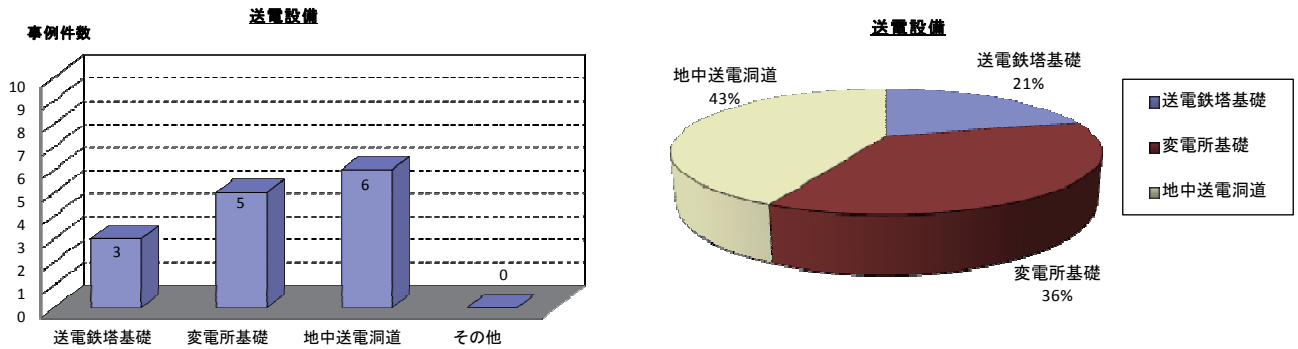


図-1.3.4 送変電設備への適用区分

各種の技術を適用した損傷事例の劣化損傷原因を区分して集計し、図-1.3.5 に示した。

全 69 例の損傷の原因は、多い順に、塩害 13 例 (19%)、鋼材腐食 7 例 (10%)、複合劣化 7 例 (10%)、中性化 6 例 (9%)、すりへり 6 例 (9%)、強度物性不良 6 例 (9%)、空洞 6 例 (9%) などが挙げられているが、特に電力施設として特有の原因は把握できない。最近劣化事例が多く報告されているアルカリシリカ反応の事例が見られないのは、この劣化に対する調査診断技術および補修技術の電力への適用が各社において比較的少ないことが想定された。

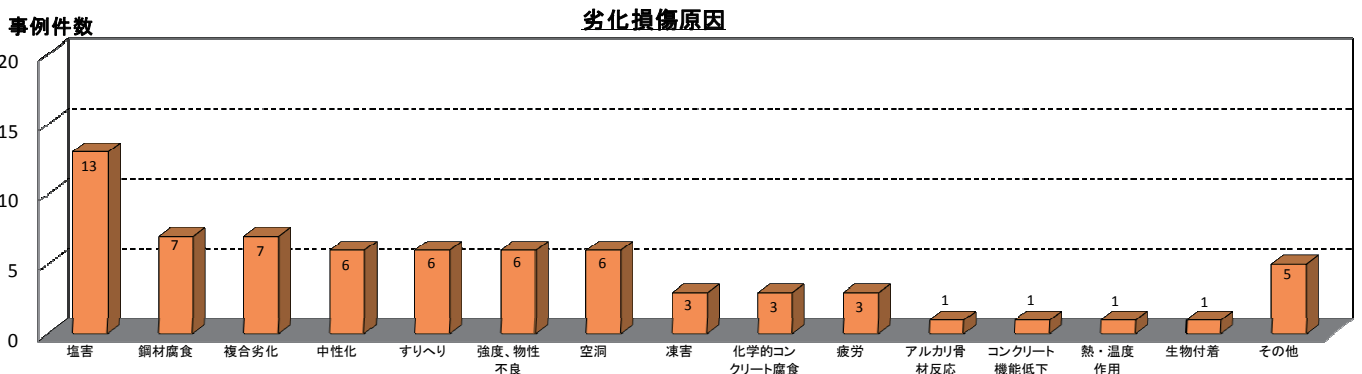
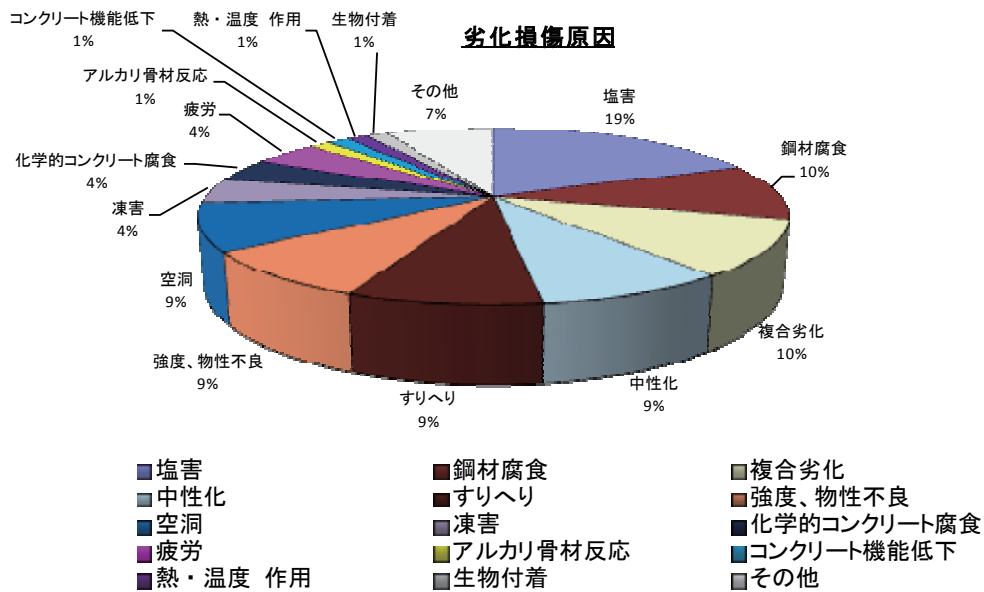


図-1.3.5 劣化損傷原因区分

健全性調査・診断および補修技術を適用した事例件数は、調査診断評価技術がもっとも多く、次に補修技術、補強技術、更新となっている。調査診断評価技術が多い理由としては、会員各社が補修・補強・更新技術を適用するに当たっては事前に現地調査を行い、補修補強技術の適用性を検討するケースが多いためと考えられる。

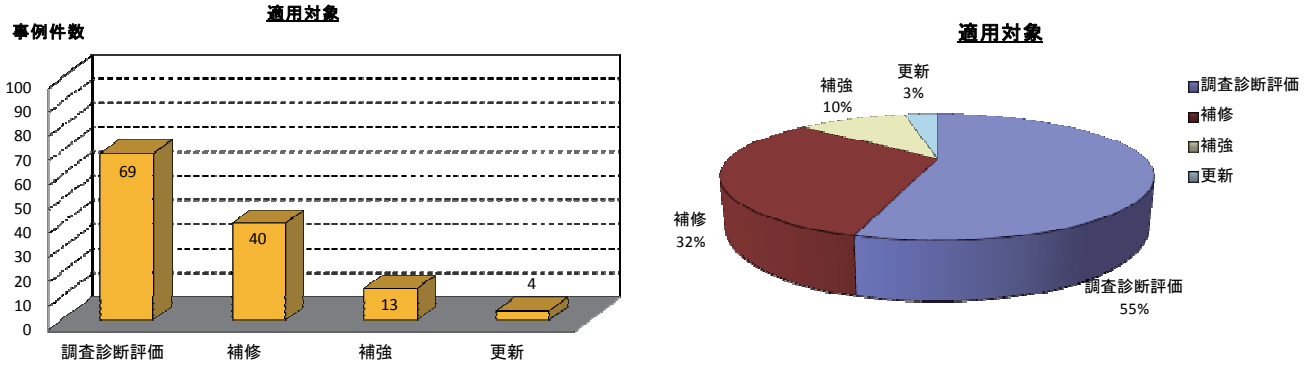


図-1.3.6 適用対象の区分

次に、調査診断評価技術の調査項目は、ひび割れがもっとも多く、強度、はく離、鉄筋腐食、中性化深さと続いている。ひび割れについては、ひび割れ原因、ひび割れの有害性の判定、補修の可否に関する評価が求められている。

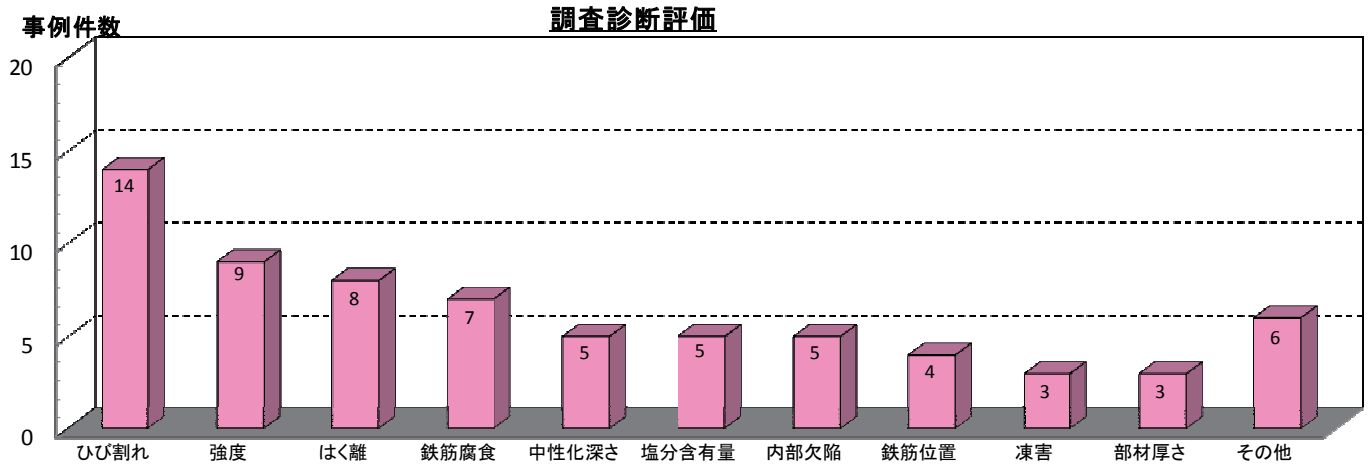
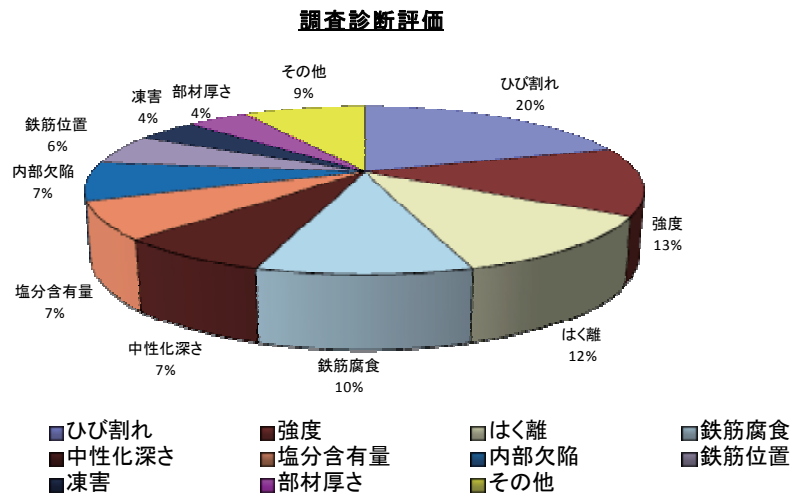


図-1.3.7 調査診断評価技術の調査項目区分

補修技術には、表面保護工法がもっとも多く、注入・充てん工法、断面修復工法と続いている。これらの補修工法は、単独で用いられることも多いが、損傷の程度によっては、まず防錆処理を行い、断面修復を行った後表面保護工法を適用する場合がある。

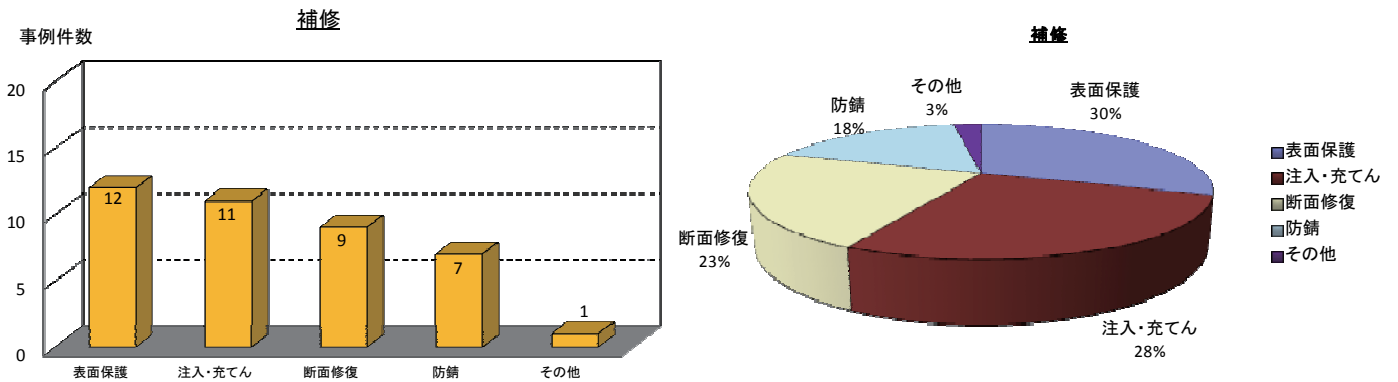


図-1.3.8 補修技術の工法区分

補強技術には、補強材の追加が半数を占めており、コンクリート部材の交換、コンクリート断面の追加と続いている。補強材の追加には、現状の部材寸法を増加させないためにシート状の材料を巻き付けて補強する工法と部材寸法の増加を前提としたRC巻き立て工法がある。

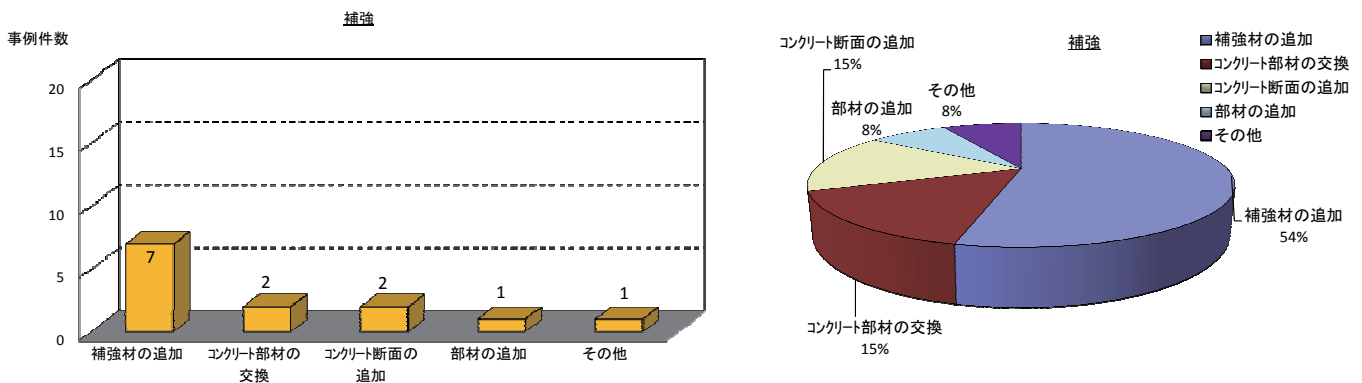


図-1.3.9 補強技術の工法区分