

第4章 今後の展望

4.1 現在の電気事業をめぐる状況¹⁾

平成23年3月11日の東日本大震災の発生以降、電力業界をめぐる状況は従来から一変した。電気事業は我が国の経済成長のインフラとしての役割を果たすべく、これまで安定的かつ安価での電力供給という期待に応えてきた。安定的な電力供給の実現に必要な発電から送配電までの設備形成のためには、長期的な視点に立った供給計画や設備投資計画を含む事業計画に基づき事業を運営していく必要があると考えられ、このような事業形態を支えるために法令等に基づく料金制度などが整備されてきた。

震災以降は、原子力政策や新エネルギー政策をはじめとする電気事業に係る政策について見直しが議論されている。また、従来にも増して電気事業に対する経済性・環境性が求められており、わが国のエネルギーおよび環境政策などの動向を踏まえて事業が運営されていくものと考えられる。

4.2 電力土木の保全対策について²⁾

巨大なネットワーク設備を抱えている電力業界は、増大する電力需要に対応するために毎年4～5兆円（総収入の約30%）の設備投資を行うのみならず、これら設備を安定して運用するための修繕費にも多くの費用を要している。戦前からの設備はもちろんのこと、戦後の高度成長期の需要の急増に対応して建設された火力発電所が設備更新時期を迎えつつあるなど、設備の老朽化が進行していることも修繕費を押し上げる要因となっている。土木設備は、これら電力設備の大部分あるいは一部を形成しており、維持管理の主たる対象としては「水力発電所のダム、水路」、「火力・原子力発電所の取放水路、護岸・防波堤などの港湾設備」、「地中送電用洞道」など多岐にわたっている。

設備の重要度や設備劣化診断に基づき劣化の程度に応じて補修／改修の優先順位を設定し、重点的に予算配分することにより、投資の効率性向上とコストダウンを図ってきている。さらに、最近の取り組みとして、ライフサイクル全体でのコストミニマムを追及するため、建設から維持・管理、廃棄までのトータルコストを総合的に評価し、設備の特性に応じて、メンテナンスフリー化・初期建設費の抑制・設備延命化の是非が適切に判断できる維持・管理システムを体系的に整備中であり、できるものから逐次導入を試みている。

(1) ライフサイクルマネジメントによる維持管理³⁾

コンクリート設備は電力施設を支える基盤であり、あらゆる環境条件の下に存在し供用されている。これらの設備の多くは建設年代が古く高経年化が進んでいる。その一方で電力の自由化の進展に伴い、供給信頼度を確保しながら既設コンクリート設備にかかる維持管理の負担を軽減し、費用の平準化を図っていく必要がある。そうした中で近年ライフサイクルマネジメントは、維持管理の効率化に寄与する技術として注目されてきている。ライフサイクルマネジメントは、既設設備に限定すれば、点検、予測、評価、対策が要素技術として必要となってくる。

a) 点検技術

設備の維持管理において実施される点検は、目的に応じて適切な方法を選択しなければならない。設置環境や変状原因等が多岐にわたるため、点検もさまざまな手法が開発されている。それらは、大きく分けて以下のとおりである。

- ① 書類などによる方法（設計基準、設計図書、施工記録などの情報を得る）
- ② 目視およびたたきなどによる方法（初期欠陥、コンクリートの浮き、はく離、鋼材の露出・腐食などの情報を得る）

- ③ 非破壊検査機器を用いる方法（反発度、電磁誘導、弾性波、電気化学的方法などに分類される。コンクリート強度、コンクリート中の鋼材位置、かぶり深さ、コンクリート中の空隙の有無、鋼材腐食傾向等の情報を得る）
- ④ 局部的な破壊を伴う方法（コンクリート強度、弾性係数、中性化深さ、塩化物イオンの分布、コンクリートの細孔径分布、鋼材の腐食状況などの情報を得る）
- ⑤ 車両の走行による方法（部材の断面剛性、振動特性などの情報を得る。）
- ⑥ 環境作用、荷重等を評価するための調査（気象条件、水分供給、塩分供給などの情報を得る。）

b) 劣化予測技術

コンクリート設備の劣化予測を行うに当たっては劣化メカニズムを解明し、それに基づいた劣化モデルを構築する必要がある。維持管理を行う上で対象となる劣化原因はさまざまであるが、劣化予測の対象となるには中性化、塩害、凍害、アルカリ骨材反応、化学的侵食、すりへり、疲労である。これらのうち、中性化、塩害に関しては二酸化炭素や塩化物イオンといった劣化因子のコンクリート中への進入について多くの研究成果が得られており、比較的精度よく予測が可能である。

c) 評価および判定技術

コンクリート設備の性能評価では点検データに基づき劣化原因の究明と変状がどの段階にあるかを判断しなければならない。ここでは、各劣化段階における変状の状態が劣化原因毎に異なることに留意する必要がある。ライフサイクルマネジメントに基づいた維持管理で重要なことは、設備管理者がどのようなシナリオに基づいて行うかを明確にすることである。そのためには設備に対する許容劣化状態を明確にする（＝管理基準値を明確にする）とともに現在の変状が許容劣化状態に対しどのレベルにあるのかを定量的に評価することが重要となる。

設備に生じた変状がその設備が本来有していた性能に対し、どの程度影響を与えるのかを定量的化することが、補修の可否を判断する上で重要となる。

d) 対策技術

何らかの対策が必要と判定された場合は、設備の重要度、残存予定供用期間、劣化原因および程度を踏まえ適切な方法により対策を行う必要がある。その際、図-4.2.1に示すように、対策の目標となる性能レベルを明確にしておくことがライフサイクルコストの算定に重要である。

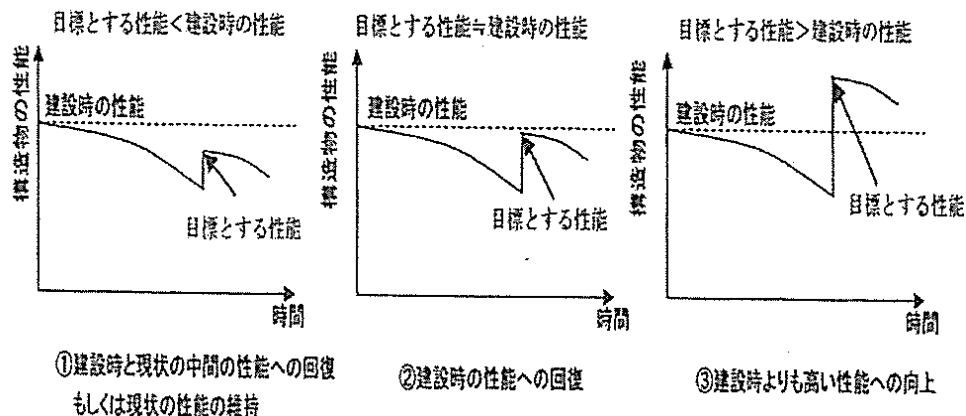


図-4.2.1 目標とする補修・補強のレベル³⁾

既に補修・補強については多くの技術開発がなされており、適用事例も数多く報告されているが、それらによる設備の延命効果（補修・補強効果）については必ずしも定量化されていない。ライフサイクルコストを算定し最適なシナリオで維持管理を行うためには、補修・補強による延命効果も定量化する必要がある。

(2) ライフサイクルコスト評価⁴⁾

ライフサイクルコスト（LCC）は、構造物の計画、設計、建設から供用期間を経て撤去（更新）されるまでの全期間、すなわちライフサイクルにおいて必要とされるコストの総量であり、以下の式で表わされる。

$$LCC = C_i + C_m + C_r + C_f \cdot P_f$$

$C_i + C_m + C_r$: 投資額

C_i : 建設費（計画・設計費を含む）

C_m : 維持管理費（点検・調査費、補修費等を含む）

C_r : 撤去費

$C_f \cdot P_f$: 設備損壊時のリスク費用

C_f : 設備損壊時に発生する損害費用

P_f : 設備損壊の発生確率

LCC 評価とは、設備の運用・管理において、LCC が最小となる最適投資を見出す方法である。なお、上記の式には電力設備の公共性を踏まえて設備損壊時のリスク費用を含めた。図-4.2.2 は、簡単のため建設費と維持管理費のみに着目して両者の関係をイメージ的に示したものである。例えば、ステンレス鋼のような耐食性に優れた材料を使って初期の性能を高めておけば、建設費は膨らむが、維持管理費を軽減させることが期待できる。また、図-4.2.3 には、投資額（建設費+維持管理費+撤去費）とリスク費用（設備損壊時）の関係をイメージ的に示した。投資額とリスクの軽減についても、トレードオフの関係が成り立つ。いずれにしても、ライフサイクルマネジメントで肝要なことは、建設費と維持管理費のバランス、あるいは投資額とリスクのバランスをいかに保つかということになる。

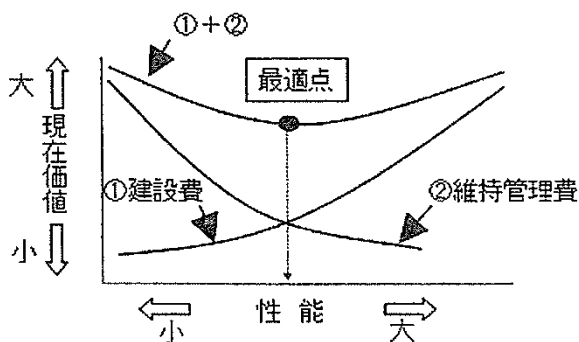


図-4.2.2 建設費と維持管理費の関係⁴⁾

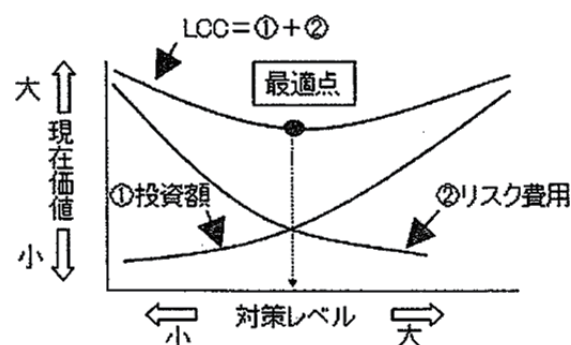


図-4.2.3 リスク費用を含めた LCC 評価⁴⁾

4.3 将来の技術の方向性について

(1) 調査診断技術⁴⁾

コンクリートの調査・診断技術（特に非破壊診断技術）については、1930年代頃から研究が始められ、施工によって品質が大きく変動するコンクリートの品質がこの当時から懸念されていたものと考えられる。その後、強度推定法が研究対象の中心であったが、測定機器の開発や改善、コンクリートに対する要求性能の多様化などに伴った、ひび割れや空隙などの内部欠陥、鉄筋腐食などの探査法としての調査および診断方法の重要性が認識されてきた。1980年代前半は、まさにコンクリートの品質に対する信頼性が大きな社会問題になった頃であり、主に強度推定法についての議論が主流であった。また1990～1992年には、日本コンクリート工学協会に委員会が設置され、強度推定法ばかりでなく、電磁波レーダー法、アコースティック・エミッション（AE）法、赤外線サーモグラフィ法などの内部探査法に関する研究について活発な議論が行われてきた。最近になってコンクリートの品質管理や健全度診断のための補助手段として重要性がましてきつつある。

a) 各検査技術の精度向上

たとえば、非破壊検査でコンクリート強度を推定する場合、種々の方法・強度式が提案されており、得られる値もどれを選択するかで変化する。このように、維持管理で的確な判断をするには、検査技術の精度向上が望まれる。また、各検査の精度向上を期待するだけでなく、別の非破壊検査によるクロスチェックや微破壊検査などの詳細設計を行うことも必要となる。

b) 検査機器の開発・応用

コンクリートの分野では、強度推定を目的とした非破壊検査以外は、金属などの他分野での開発された技法をそのまま利用して用いることが多く、コンクリート独自のものは少ない。今後は他分野の研究にも注視し、高性能検査機器を開発することが重要と考えられる。特に医療分野での進展の著しいX線トモグラフィ法、超音波断層写真法、核磁気共鳴法などのコンクリート分野への適用が期待される。

c) 検査技術の多方面への活用

コンクリートの非破壊検査は、構造物に何らの劣化・損傷の兆候が現れたときに、その状況や原因を調査する目的で使用されることが多く、どちらかと言えば補助的・補完的な利用であったと言える。今後はコンクリート施工時の品質管理やヘルスマルタリングあるいは性能規定化に対応した、より積極的な活用方法について検討する必要がある。

d) 総合的検査・診断システムの確立

個々の検査技術と組み合わせて、一貫した総合的検査・診断システムを開発することが重要な課題である。一例として、車両搭載型のトンネル内覆工コンクリートの自動診断システム等が挙げられる。また、結果の評価システムとしては、ファジー集合論やニューラルネットワークに基づくエキスパートシステムの開発が有効と考える。

(2) 補修・補強技術

a) 環境条件に対応した補修・補強技術の開発

激しい腐食性環境や水中での施工など、劣悪な環境下で補修・補強を行う必要が今後増加してくると思われる。また、断面修復後に吹付けモルタルを使用する機会が多いが、湿式モルタルを用いる場合、資材置き場が確保できないケースではモルタルを製造する場所が確保できないため、搬送距離を長距離

とした乾式吹付け工法に変更するなどして施工性の向上を図る必要が求められる。また、電力土木施設では運転を休止できないケースがある。そういった場合に短時間で施工可能な材料、工法の開発が必要となる。

b) LCC を考慮した補修・補強技術の開発

セメントボード等を使用した埋設型砕工法、金属固有の電位差を利用して防食電流を流す電気防食工法、コンクリートに塗布するだけで表面を改質する改質剤等 LCC を考慮した補修、補強工法が提案されている。長期耐久性を確保し、メンテナンス費用を低減させることによって LCC の低減を図る技術開発が進められている。また、長期耐久性を求められる技術として、流電陽極式の電気防食も開発されている。これは外部電源の場合に比べて、常時電気を供給する設備や電気代が不要となるため、メンテナンスコストを抑えて、ひいては LCC の最小化に寄与している。断面修復にコンクリートパネルや FRP パネルを使用するケースが見られる。それらの材料は、場所打ちで施工されるコンクリートやモルタルに比べて、工数が減少するとともに工期も短縮することが可能である。パネル自体を軽量化することによって型枠材と同じような施工性を持たせて型枠材の設置、取り外しの手間を省略し、より一層の工期短縮も工夫されている。これらのパネルはイニシャルコストこそ高くなるが施工性を向上させることによって工期短縮を図ることが可能となり、全体工事費の削減を図ることが可能である。また、耐久性の高い材料を使用することによって、メンテナンス費用の低減も図れる。イニシャルコストの上昇を施工性の向上およびメンテナンス費用の低減で吸収するような技術が求められている。このように耐久性を向上させると共に LCC を最小化する補修・補強技術の開発が求められている。

(3) ライフサイクルアプローチによる発電技術の環境分析・評価⁵⁾

電力施設の建設そして維持管理においては、性能や安全性、そしてコストなどに加えて、環境面についても配慮することが求められている。特に地球温暖化への対応が常に問われる今日においては、電力施設が地球温暖化に与える影響を分析し評価することが不可欠となっている。

電力施設に限らず、一般に様々な製品、設備、構造物などに係る環境影響を分析・評価する際にはライフサイクルアプローチが有効である。ライフサイクルアプローチとは、製品や設備などのライフサイクル、すなわち資源の採取から、製造、使用、廃棄・リサイクルに至るすべてのプロセスを踏まえて環境影響などを分析・評価する方法の総称である。

電力施設の主たる機能は、自然界にある様々な形のエネルギーを電力という形に変換し、社会に供給することである。この「電力」のライフサイクルは一般に図-4.3.1のように示される。

電力のライフサイクルには2種類の流れがある。第1に、石炭やウランなどのエネルギー資源を自然界から採取し、電力に変換して、廃棄物を処理するというエネルギーの流れである。第2に設備の流れである。発電したり、資源を採取したりするためには設備や構造物が必要である。それらを製造・建設し、運用、解体・廃棄するという流れである。このように、電力施設を環境面から適切に分析・評価するためには、「電力施設自体」のライフサイクルではなく、そこで生み出される「電力」のライフサイクルに着目することが求められる。このことは電力施設だけではなく、その上流および下流における発電に係る活動全体を含めた発電技術システムとして捉えることを意味する。これを模式化したものが図-4.3.1である。

このアプローチを利用して、これまで種々の発電技術に関して資源・環境分析がなされてきた。1970年代には石油危機を反映して、数多くのエネルギー収支分析がなされた。エネルギー収支分析は、ある発電技術を用いて電力を生産するために必要となるエネルギー総量をライフサイクル図-4.3.1 にわたって計算し、その値を生産された電力と比較する。端的に言えば、自然界にあるエネルギー資源をどの程度効率的に電力変換し社会へ供給できるかをエネルギー収支分析により定量的に判断することができる。発電電

力量に対して投入されるエネルギーが少ない発電技術ほど効率的であると言える。また昨今では、地球温暖化問題の高まりから、種々の発電技術の温暖化特性を知るために、ライフサイクルにわたり排出される温室効果ガス量を推計することが国内外で試みられている。

発電土木施設についても環境の観点からも機能の維持に務めていくことが求められるようになってきている。

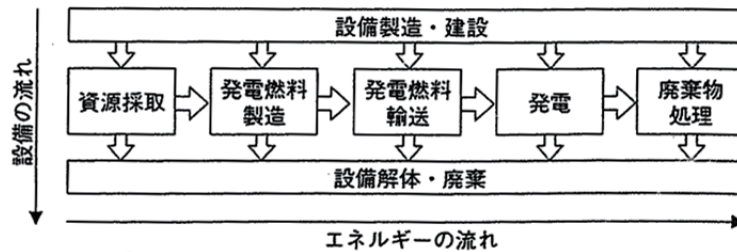


図-4.3.1 電力のライフサイクル⁵⁾

<参考文献>

- 1) 情報センサー Vol.73 July 2012
- 2) 土木学会誌 1998年2月 電力土木施設の維持管理
- 3) 電力土木 電力土木技術協会 No. 340
ライフサイクルマネジメントによる電力施設の維持管理 (第2回)
- 4) 電力土木 電力土木技術協会 No. 339
ライフサイクルマネジメントによる電力施設の維持管理 (第1回)
- 5) 電力土木 電力土木技術協会 No. 342
ライフサイクルマネジメントによる電力施設の維持管理 (第4回)

