

第3章 他分野技術の実態調査

3-1. はじめに

3-1-1. 調査の目的

土木分野における鋼橋だけでなく、我国の社会資本、産業資本というカテゴリーに分類される鋼構造物は、その大半が高度経済産業期以降に急速に建設されたものが多い。今後このような鋼構造物をいかに効率的に維持管理していくかという問題は分野を超えた共通の課題であると言える。したがって、鋼橋の点検・モニタリングに関する新技術を考える上で、鋼橋を除く他分野（以下、他分野と略記する）における点検・モニタリングの体制や技術に対して、導入に至った契機や背景、すでに実用化された技術、あるいはフロンティア技術を調査しておくことは、極めて重要であると考えられる。そこで、本章では他分野の点検・モニタリングの現状について、技術調査を行うこととする。

3-1-2. 調査対象分野

調査対象分野は以下の8分野とする。分野の選定に際しては、①鋼橋と同様に大型構造物であること、②維持管理の重要性が高いこと、③情報収集の容易さ（各委員のバックグラウンド）などを勘案した。

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. 水土木鋼構造物 | 2. 港湾構造物 |
| 3. 化学プラント | 4. 鉄道車両 |
| 5. 天井クレーン | 6. クレーン |
| 7. 建築 | 8. 圧力容器（LNGタンク） |

3-1-3. 調査の方法

調査は、点検・モニタリング技術などのハードウェア面と、検査体制を含めたソフトウェア面の両方を対象として実施する。また、他分野の実態調査という点に重点を置き、新技術にこだわらず、実用化技術も含めて調査対象の幅を広げた。具体的な調査の方法としては、文献調査を中心として、上述した各分野に関する資料、論文だけでなく、点検マニュアルや維持管理基準などのレビューを行うこととする。また、鋼橋のような社会資本とは異なり、産業資本に属する鋼構造物に関しては、民間企業が管理者であるケースや、民間企業に維持管理を完全委託しているケースがあり、維持管理が一つの業態として確立されている分野もある。事業面から見る維持管理も非常に興味深く、鋼橋分野を含めた社会資本分野においても今後の参考になると考えられたため、いくつかの分野ではこれらに関する調査も行った。さらに、維持管理とITという観点からも、ITの活用事例として事故情報の共有化（データベース化）が進められている分野もあった。これらの事例についても、適宜紹介を行うこととする。

3-2. 他分野調査

3-2-1. 水土木鋼構造物

a) 水土木鋼構造物の維持管理の背景

水力発電に関わる土木鋼構造物には、ダムゲート、水圧鉄管、水路橋、スクリーンなどがある。これらのうち、ダムゲートや水圧鉄管は、ダム本体、導水路とともに、水力発電の4大土木設備として、特に重要設備な設備となっている。これらの水土木鋼構造物の多くは、建設後50年以上を経つつあり、経年劣化が懸念されている。

図.3-2-1-1は、ダムゲートのうち、洪水吐きゲートに限定し、その中で主要な構造形式となっているラジアルゲート、ローラーゲートについて、昭和62年に発刊された文献3-2-1)を参考に、昭和初期から昭和60年までの設置門数を年代別に示したものである。文献3-2-1)の発刊後、幾つかのゲートでは取替え等が実施されたと思われるが、本報告書執筆時点(平成19年)で既に設置後50年を経過した昭和30年以前に設置されたゲート、および、これから設置後50年を迎えようとしている昭和30年代のゲートが、全体の半数以上を占めるようになっている。

このように、経年劣化が懸念される一方で、発電に関わるコスト削減のため、既設の水土木鋼構造物に適切な補修・補強等を施しながら、その供用期間を延伸して効率よく運用することが求められ、既設構造物に対する維持管理の重要性は年々高まっている。

本節では、これら水土木鋼構造物のうち、ダムゲート、および水圧鉄管について、その維持管理の基本となる、点検、調査の実態と、最近適用が試みられている新しい技術について述べる。

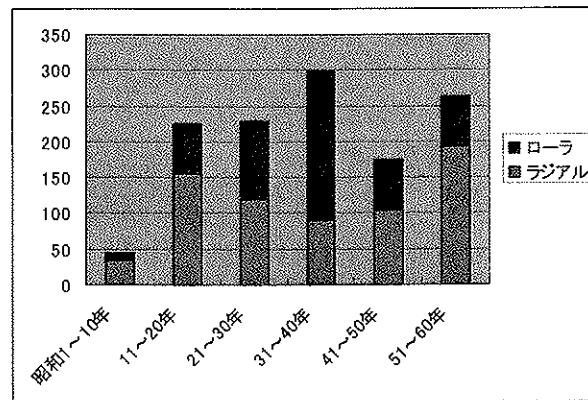


図.3-2-1-1 ラジアルゲート、ローラーゲートの年代別設置門数³⁻¹⁾

b) 水土木工構造物の維持管理に関わる技術基準の体系

ダムゲート、水圧鉄管の維持管理に関わる技術基準の体系の概略を図.3-2-1-2に示す。ダムゲート、水圧鉄管は、発電に関わる構造物として、まず、電気事業法に従って、設置、

運用されている。また、ダムゲートは、河川に設置される構造物として、河川法にも従って、設置、運用されている。

電気事業法第39条第1項には、「事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物を経済産業省令で定める技術基準に適合するように維持しなければならない。」とあり、これをもとに、「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令」が定められている。

同技術基準を定める省令の第13条では、ダムに対する洪水吐きゲートの設置と、洪水吐きゲートに要求される性能が述べられている。特に、第2項の3で、「扉体の自重、静水圧、動水圧、泥圧、地震力、浮力、開閉力及び氷圧による応力並びにこれらの荷重のうち動水圧及び地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。」と、洪水吐きゲートの構造安全性を確保する上で、許容応力が用いられている。

水圧鉄管についても同様で、同技術基準を定める省令の第32条第1項で、「使用する材料ごとに許容応力を超えないこと」が求められており、ダムゲート、水圧鉄管が満たすべき性能に関する定量的な表現となっている。

具体的な許容応力の値については、「発電用水力設備の技術基準の解釈について」の中で、ダムゲートについては、民間規格である日本電気技術規格委員会規格、さらに同規格の中で水門鉄管技術基準が参照されている。水圧鉄管については、同解釈の中で、水門鉄管技術基準が参照されている。

一方、河川法第13条第2項に「河川管理施設又は第26条第1項の許可を受けて設置される工作物のうち、ダム、堤防その他の主要なものの構造について河川管理上必要とされる技術的基準は、政令で定める。」とあり、これをもとに、河川管理施設等構造令が定められている。

同構造令を実施するために定められた省令である河川管理施設等構造令施行規則では、その第13条3項で、「前項の表において採用する荷重によりダムのゲートに生ずる応力は、適切な工学試験の結果に基づき定める許容応力を超えてはならないものとする。」と定められており、やはり、ダムゲートの安全性に関する定量的表現として、許容応力が用いられている。

具体的な許容応力の値については、同構造令の解説書³⁻²⁻²⁾の中で、民間規格であるダム・堰施設技術基準(案)³⁻²⁻³⁾が参照されている。同ダム・堰技術基準(案)中の設計に関する記述は先の水門鉄管技術基準と同様である。なお、同ダム・堰技術基準(案)では、とくに維持管理に関わるものとして、巡視・点検、整備、保守管理記録などに関する頻度や項目などが示されている。

以上のように、ダムゲート、水圧鉄管においては、その構造安全性に関わる定量的な指標として許容応力が示されているほか、ゲートについては、水密性を有すること、開閉が確実に行えること、水圧鉄管については、振動、座屈及び腐食に対し安全であること、危険な漏水がないことなど、が要求されており、供用期間中これら満足するよう維持管理が実施されている。

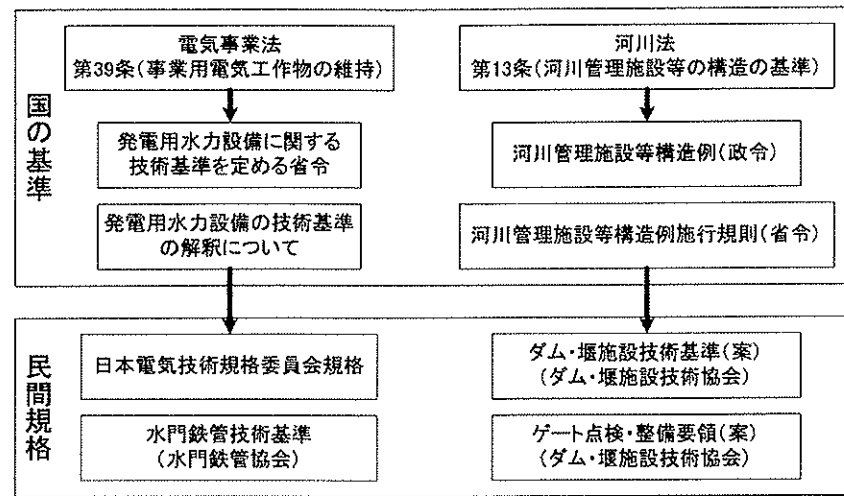


図. 3-2-1-2 ダムゲート、水圧鉄管の維持管理に関わる技術基準の体系

c) 水土木鋼構造物における維持管理のフロー

図. 3-2-1-3 に、ダムゲート、水圧鉄管における維持管理フローの例を示す³⁻²⁻⁴⁾。

巡視、定期点検は、主として目視により、対象とするダムゲート、水圧鉄管の状況を把握するものであり、項目としては、塗装の損傷・劣化、腐食の程度、構造物全体の振動、異常音、部材の変形、漏水などがある。このうち、漏水は、水密性という構造物の使用性に関わるもので、実際にダムゲートを開閉して実施される操作性とともに、水土木鋼構造物特有の点検項目であろう。

なお、これらの巡視、点検においては、一部簡易な計測器を用いて定量的に記録するものもあるが、多くは、異常の有無とその程度といった定性的な表現による記録が行われている。

臨時点検は、巡視等で特に異常が認められた場合、あるいは、洪水、地震などの異常事象が発生した後など、不定期に実施される点検である。

点検よりも詳細に構造物の状況を把握するために実施されるのが、調査である。以前は、これらの調査も、巡視・点検などと同じように、時間計画保全の考え方に従い、1回/20年など、予め定められて調査間隔で実施されることもあったが、現在は、上記の点検結果をもとに、一度評価を行った上で、必要に応じて実施されるという、状態監視保全に近い考え方で実施されている。

調査では、板厚測定、応力測定などの実測、あるいは、これの実測結果をもとにした構造解析などが実施される。

板厚測定では、超音波板厚計などを用いて、1箇所25点測定など、多くの1箇所でも多数の測定を行う。これらの測定値から求められる平均板厚、あるいは、平均板厚から標準偏差を引いた板厚などと、予め設けておいた板厚の許容値とを比較して構造安全性の照査を実施するほか、測定で得られた板厚を構造解析モデルに入力して解析を実施し、発生応力

を求めて許容応力と比較により構造安全性の照査が実施される。また、測定時の板厚による評価のみならず、設置時の元厚との比較を行い、板厚減少の速度（腐食速度）を求め、供用期間にわたる板厚の減少量に対して照査を行い、供用期間中の構造安全性、あるいは、余寿命の検討を行う。

応力測定において、まず、ダムゲートにおいては、仮締切をダムゲート前面（ダム貯水池側）に設けるなどして、ダムゲートに作用する水位を制御しながら応力測定が実施される。その際、ゲートの高さに対して、その8割程度以上の水位が作用することが目安となる。こうして得られた応力測定値を、実測そのものあるいは、構造解析を介して設計水位まで外挿し、許容応力と比較する。

水圧鉄管については、鉄管内抜水時、あるいは、充水時に応力測定が実施される。水位の目安は鉄管上流側にある水槽が満水になる状態である。水圧鉄管に発生する応力は内圧に依存し、作用水位（水頭）が分かれば容易に発生応力を算出できることから、満水に満たない場合は、測定時の測定結果を満水までの水頭差の分を割り増しする。

以上のように、構造安全性の照査では応力測定と許容応力との比較が行われるが、過去のダムゲート、水圧鉄管の取替え例をみても、許容応力を超過したことをもって取り替えた事例は稀であり、許容応力を超過していなくても、点検結果や構造物の重要度などを加味して総合的に構造物の健全性を評価して取替えの判断材料としている場合が多い。

また、近年では、コストを削減するため、取替えを行わず、部分補修・補強により、既存構造物をより効率的に長期間運用していく方向にある。

先に示したように、国が定める技術基準には、許容応力という定量的な指標によって規制される性能はあるものの、定量化されないものも多く、構造物の管理者に自主保安に任される部分も大きい。そのため、図. 3-2-1-3 のような維持管理フロー、各種判断基準などは、管理者独自に設定し、マニュアル等にまとめて運用しているのが実情である。

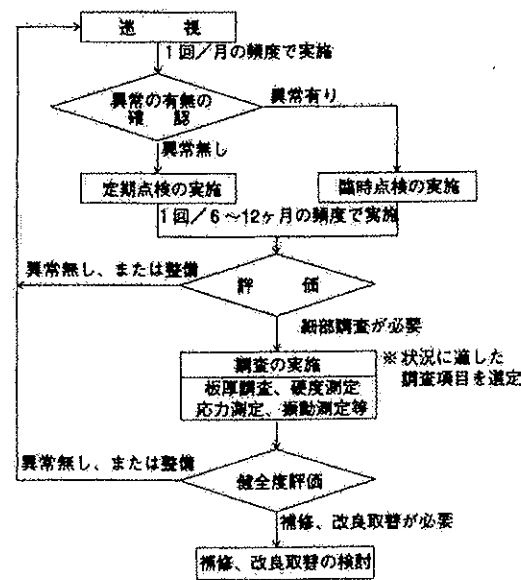


図. 3-2-1-3 水門鉄管の維持管理フロー³⁻²⁻²⁾

d) 水土木鋼構造物の劣化・変状

ダムゲート、水圧鉄管にみられる変状の主なものは、腐食・摩耗であり、これらによる板厚の減少は、構造部材における応力増加につながるため、変状としてとくに注意が必要である。

発電用のダムゲート、水圧鉄管は淡水環境におかれている場合が多く、その腐食の進行速度は最大でも0.03mm/年程度といわれている。しかし、ダムゲートにおいては、放流にともない主構造部材に塵芥が堆積する、あるいは、放流に伴う流下物で腐食進行を防ぐための塗膜などが摩耗するなど、腐食を促進する環境が局所的にできる場合も多い。また、水圧鉄管では、管内部の流水中に土砂が混入することにより、内面が摩耗する場合あり、板厚の減少が促進される場合もある。

また、ダムゲートでは、ゲートを円滑に開閉させるために、ローラーや、ヒンジ支承を有する場合が多く、これらの摺動部において、腐食や摩耗により、円滑な開閉動作に支障をきたすと、開閉荷重の増大によって、ゲートそのものが損傷したり、あるいは、ゲートが開閉不能に陥り、ダム本体の安全性にも支障をきたすことになる。そのため、耐荷性能に関わる構造部材の腐食のみならず、操作性に関わる、ローラーや、ヒンジ支承部などにおける腐食、摩耗にも注意が必要となっている。

水土木鋼構造物においては、設計段階で顕著な振動を防止する策が取られており、疲労に関する設計はとくに実施されていない。

そのような中でも、ダムゲートでは、微小な開度で放流する場合に、自励振動を引き起こす場合があり、ゲートの下端から放流する際に、ゲート下端の形状によって水流の再付着などによって生じる圧力変動に起因するとされている。

また、ゲートの形式のひとつであるラジアルゲートにおいては、ゲートとダムの貯水との連成振動によりゲートに耐荷力を上回る荷重が発生する場合もありうるとの研究成果がある。

水圧鉄管においては、水車や吸出管で生じる圧力変動が水圧鉄管に伝わり、管と共振して疲労亀裂を生じる事例がある。

これらの自励振動や、共振を引き起こしたゲートや水圧鉄管については、流水部の形状を見直して、圧力変動を生じないようにする、あるいは、補剛材を増設して固有振動数を高め、圧力変動源の振動数から離すなどの対策により、有害な振動を生じているものはほとんど存在しないのが実情である。

e) 水土木鋼構造物に適用された最近の技術

ダムゲート、水圧鉄管の維持管理においては、腐食や変形状態、漏水や溜水の有無などによる目視による定性的な評価に加え、振動や片吊りなどの操作性に関する評価、腐食の進行率や許容応力に対する発生応力の余裕度、たわみの余裕度などの定量的な評価などが実施されている。

特に、発生応力の評価には、腐食量の測定や応力測定など、手間とコストを要する作業を伴うため、これらを効率化すべく、新しい技術の導入が試みられている。

ダムゲートにおいては、支配的な荷重は水圧荷重であるが、発電用ダムに設置されたゲートでは、常時水圧がゲートに作用して応力が生じている状態となっている。

また、水圧鉄管においても支配的な荷重は内圧であり、常時管内に水が満たされた状態であることから、ダムゲートと同じように、内圧により常時応力が生じている。

その応力測定には、通常ひずみゲージが用いられており、応力の変動量だけではなく、その大きさの絶対量を測定するには、これらの水圧荷重を除く必要があり、ゲートの上流面に仮締切や、発電を停止しての管内の排水など、大きなコストを伴うものであった。

そこで、大規模な架設工事や、発電停止を伴わない応力の絶対値の測定法として、磁歪法の適用が試みられている³⁻²⁻⁵⁾。

磁歪法は、強磁性体にひずみを与えた際に磁気透磁率に異方性が生じて磁束密度が変化することを利用した手法である。ひずみゲージと異なり、残留応力を含めた応力の絶対値が測定可能であることはもちろん、測定箇所塗膜除去や配線などの前準備、防錆処理などの測定後の後処理が不要という利点がある。現状では、ダムゲートの応力測定法として一般に普及した測定法とはなっていないが、実用化されれば、ダムゲートの維持管理の精度向上はもちろん、鋼橋など鋼構造物全般に広く適用可能な技術となりうるものである。

ダムゲート、水圧鉄管の維持管理においては、発生応力を許容応力以内に収めることが必要である。経年の中で応力増加をまねく要素としては、先に述べた鋼材の腐食が挙げられる。

ダムゲート、水圧鉄管においては、主たる荷重である水圧荷重を容易に想定できること

から、板厚測定結果をもとに、構造解析を介して比較的精度よく発生応力を算出することが可能であり、応力測定が板厚測定によって代替されることもある。

通常、板厚測定は、ダムゲート、水圧鉄管ごとに推奨されている測定箇所において、超音波板厚計を用い、1箇所あたり25点程度の測定を行って、その各箇所の平均値や、最大値、あるいは、平均値から標準偏差を引いた値などを有効板厚として構造解析に用いていることは先に述べた。

板厚測定においては、水圧鉄管を支える支台の裏などは、水が滞留しやすく、腐食が促進される環境にあるが、外面から板厚の測定が難しい箇所があるほか、管径が大きくなることと測定のための架設工事なども必要となる。

そこで、測定が難しい箇所での測定や、測定の効率化のため、新しい板厚測定方法の導入が試みられている。

まず、特殊超音波を適用した新しい板厚測定方法（腐食量測定方法）である³⁻²⁻⁶⁾。従来の超音波板厚測定では、管の板厚方向に超音波パルスを入射し、その反射時間から板厚を求めていたが、この方法は、超音波の管の面内に沿って伝播する超音波の減衰から腐食量の測定を行うものである。従来の超音波板厚測定では、板厚（10数mm）程度の距離を伝播しているだけであるが、支台の裏の腐食量を測定するために、支台の大きさ（数10cmから1m程度）音波伝播を伴うことから、発信される超音波にスペクトラム拡散通信方式を適用し、S/N比を向上させている。管に限らず薄肉部材の部材方向に伝播する超音波であるガイド波を利用した手法は、配管系の探傷などで注目される技術であり、長大構造物の検査において有用な技術である。

続いて、測定を効率化するために、板厚測定の自動化も進められており³⁻²⁻⁷⁾、板厚測定部に超音波センサーと電磁渦流センサーを搭載した自動板厚測定ロボットを水圧鉄管の外表面に走行させて測定を行う。これにより、足場を設置せずとも、数m以上の径をもつ大口径の水圧鉄管の全周にわたる板厚測定が実施でき、測定が効率的に行われる。

水圧鉄管のうち、埋設管については外面からの板厚測定は行えず、また、高落差揚水発電所のように、点検コストや停電期間等の問題から、抜水しての内部点検が困難な場合もある。

そこで、充水状態で内部からの板厚測定を実施する技術が導入されている³⁻²⁻⁸⁾。それは、超音波式板厚計と電磁式塗膜厚計を備え、水中を航行することが可能な点検ロボットで、管内を自動航行し、所定の箇所での管の板厚と塗膜厚さを自動計測するものである。水圧鉄管に限らず、水力発電に関わる土木構造物は水に接する部分が多いことから、水中での点検に自動航行する点検ロボットを利用する例や、小口径の水圧鉄管で、管自体をガイドとして管内を移動して内面を塗装するロボット³⁻²⁻⁹⁾など、ロボットが適用される機会も比較的多い。

水力鋼構造物特有の構造形体や使用環境によりロボットが適用可能となっている面もあり、他の鋼構造物にそのまま適用できる技術ではないが、点検の効率化や、難所での点検

用に、点検におけるロボットの使用は今後増加すると考えられる。

以上は、水土木鋼構造物の点検・調査に関わるハード的な技術であるが、ソフトの面でも、維持管理の効率化を図るとともに、維持管理技術の継承の意図もふくめて、維持管理を支援するシステム開発と導入が進められている^{3-2-10) 3-2-11)}。システムでは、点検・調査結果のデータベース化、これらの結果を用いた対象構造物の健全度の自動評価、そして、評価結果を踏まえた改修要否判断ならびに改修優先度の設定などが行われている。

構造物の健全度評価においては、点検で得られる定性的な情報を状態点、あるいは評価点などと数値化を行い、調査で得られる定量情報とともに、損傷モード影響解析など介して、対象構造物の健全度を点数化し、複数の構造物間での比較が可能なような健全度評価の標準化が行われている。

また、文献3-2-12)に記されたシステムでは、健全度評価に加え、腐食等の劣化モデルをシステムに組み込んで構造物の余寿命を算定するとともに、リスクを考慮したライフサイクルコストの評価も踏まえて、最適投資の観点からの保全計画を支援が行えるようになっている。

以上で得られた個々の構造物に対する健全度に対して、構造物の重要度に応じて係数をさらに乗じることで、個々の構造物間における改修優先度を求めている。

f) まとめ

水土木鋼構造物における維持管理の現状と、最近適用された新しい技術について概説した。水土木鋼構造物特有の条件によった技術も多く、すぐに他の土木鋼構造物に適用可能なわけではないが、維持管理の参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 3-2-1) 中村秀治ほか；水力鋼構造物の寿命予測手法の開発，電力中央研究所報告総合報告U04，1987.
- 3-2-2) 財団法人国土技術研究センター編，社団法人日本河川協会発行；改定 解説・河川管理施設等構造令，山海堂，2000.
- 3-2-3) ダム・堰施設技術基準委員会編，社団法人ダム・堰技術協会発行；1999
- 3-2-4) 吉村豊；講座 鋼構造物の劣化診断（第1回），電力土木，No.316，pp.151-154，pp.2005.
- 3-2-5) 有常健ほか；磁歪法による水力鋼構造物の応力測定への取り組み，電力土木，pp.41-45，No.306，2003
- 3-2-6) 田口泰明ほか；水圧鉄管健全性調査手法 調査研究報告，水門鉄管，No.211，pp.54-59，2002.
- 3-2-7) 友近文志；経年水圧鉄管の詳細調査事例について，水門鉄管，No.213，pp.73-76，2003.

- 3-2-8) 大美真二ほか；高水圧に対応可能な板厚・塗膜同時計測システムの開発導入，水門鉄管，No.219，pp.57-61，2004.
- 3-2-9) 吉川豊ほか；ロボットを活用した小口径水圧鉄管内面塗装の施工，電力土木，No.307，pp.33-37，2003.
- 3-2-10) 塚井直樹ほか；水力発電所土木工作物点検管理支援システムの開発，電力土木，No.292，pp.24-28，2001.
- 3-2-11) 鈴木一広ほか；設備重要度を考慮した水土木設備健全性評価手法の検討，電力土木，No.290，pp.6-10，2000.
- 3-2-12) 「電力土木施設のライフタイムサポート技術の高度化」に関する共同研究グループ；ダム洪水吐ゲートの保全支援システムの構築，水門鉄管，No.228，pp.3-9，2006.

3-2-2. 港湾構造物

a) 維持管理の背景 ³⁻²⁻¹³⁾

港湾法では、「港湾施設は運輸省令で定める技術上の基準に適合するように，建設し，改良し，又は維持しなければならない。」とされている。そのため，現在，港湾施設の建設等に関する多くの基準類，技術資料等が既に発刊されている。しかし，港湾施設の維持に関しては，実務的に有用となる資料として体系的にまとめられたものはなく，また，港湾施設は大半が水中あるいは地中にあるため，その維持管理も容易ではなかった。

一方で，供用開始後長期間経った港湾構造物が多く，これらの構造物の良好な機能保全が不可欠となっている。このような背景のもと，港湾技術研究所をはじめとする関係機関の最新の研究成果や，現状の港湾施設の維持・補修に関する技術的知見を結集して，「港湾構造物の維持・補修マニュアル」が発刊された。なお，本マニュアルでは，港湾施設のうち，係留施設（係船岸，船揚場等）と外郭施設（防波堤，護岸，水門等）を対象とする。

本節では，本マニュアルの中から矢板式係船岸を代表例として，その構造物の維持管理を中心に述べ，最後に最近導入されたモニタリング例について紹介する。

b) 港湾構造物の維持管理の考え方 ³⁻²⁻¹³⁾

港湾構造物全般に関する維持管理フローを図. 3-2-2-1 に示す。まずは構造物の点検・調査を実施し，健全度を評価する。評価において，劣化の進行が認められた場合，あるいは劣化の進行が予測される場合には，残存耐用期間を十分に考慮し，点検の強化・補修・補強・解体・撤去などの中から最も合理的な対策を選定する。その際，構造物のライフサイクルコストを考慮して維持管理対策を立てる。

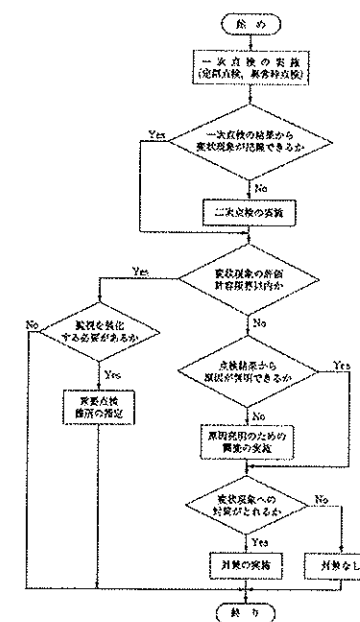


図. 3-2-2-1 維持管理フロー

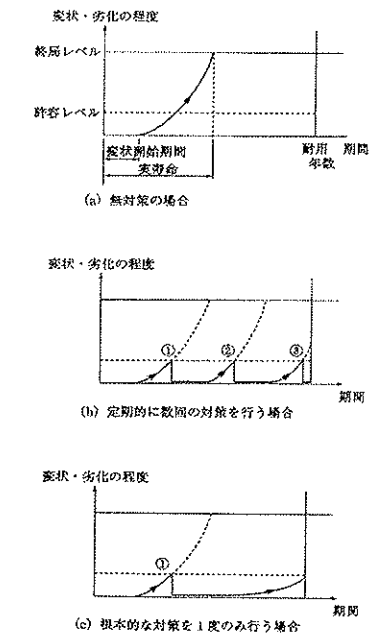


図. 3-2-2-2 ライフサイクル

c) 矢板式係船岸における変状と維持管理³⁻²⁻¹³⁾

ここでは、代表的な係留施設である矢板式係船岸の構造物全体に関する変状と維持管理について記述する。なお、構成部材である鋼材あるいはコンクリートの材料劣化に関する維持管理は次節で述べる。

① 変状

変状連鎖（構造が比較的複雑で構成部材が相互に関連し合っている上に、構造物に作用する外的要因が多種多様である。そのため、主要な変状選定において、変状の原因、変状の発生、変状の結果生ずる影響、そして機能の低下へと変状が進行していく過程を整理したもの）を図.3-2-2-3に示す。

進行型の変状（時間の経過とともに徐々に進行していく変状）としては、矢板の腐食、エプロンの沈下・舗装の損傷、係船柱・車止めの損傷、防舷材の損傷がある。また、地震および波浪による災害型の変状（比較的規模の大きい外力によって、短時間に生じる変状）としては、法線の凹凸、矢板の亀裂・損傷、エプロンの沈下・舗装の損傷がある。本構造物では該当しなかったが、変状現象の進行パターンとして、波浪を受ける防波堤のように比較的大きな繰り返し外力によって、時間の経過とともに進行する中間型の変状がある。

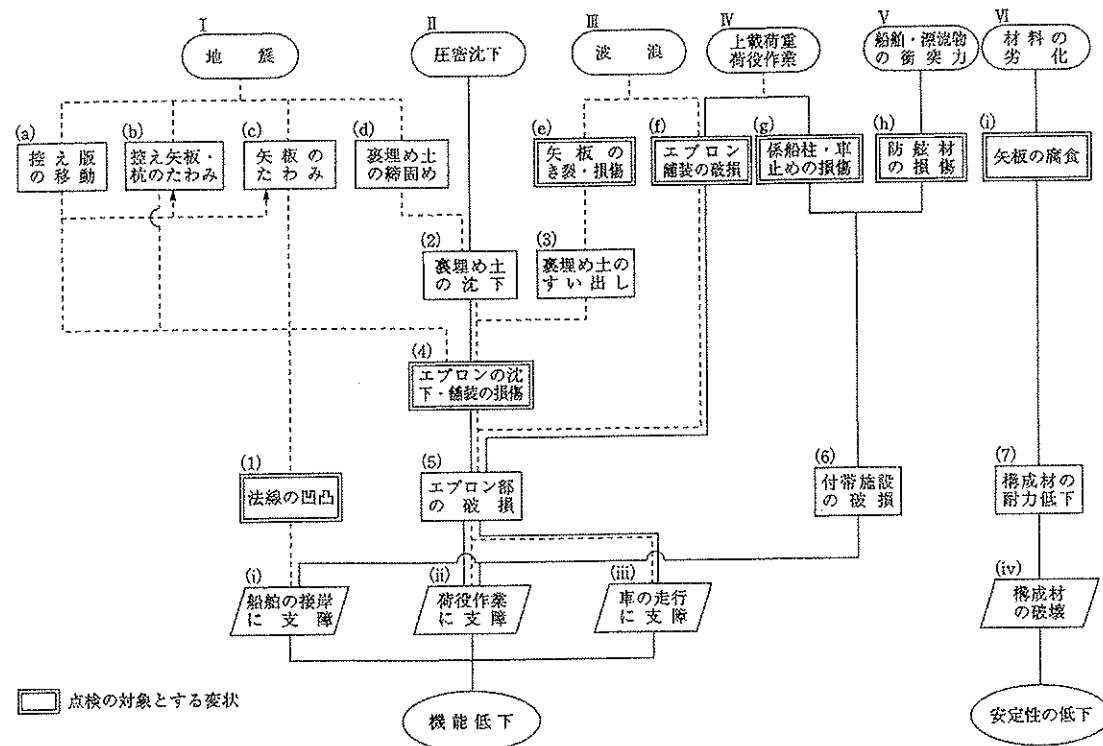


図.3-2-2-3 矢板式係船岸の主要な変状連鎖

② 点検

変状連鎖図から点検の対象となる変状を選定する。変状の点検においては、維持管理フローに基づき定期点検と異常時点検に分け、それぞれ一次点検と二次点検によって構成される。また、点検の頻度は、基本的に進行型の変状においては定期点検、災害型の変状においては異常時点検、中間型の変状においては定期点検と異常時点検を行う。

代表例である矢板式係船岸における点検項目・頻度を表.3-2-2-1に示す。また、異常時とは、災害型の変状連鎖からもわかるように地震時と荒天時であり、それぞれの点検項目を表.3-2-2-2に示す。

表.3-2-2-1 点検項目・頻度

点検対象の変状	位置	点検項目	点検頻度
矢板の腐食	本体（矢板）	腐食状況	2年に1回
法線の凹凸	本体（矢板）	矢板法線の凹凸	2年に1回
エプロンの沈下、損傷	エプロン	沈下 表面の凹凸 表面勾配 ひび割れ	2年に1回
付帯施設の破損	防舷材、車止、係船柱	損傷状況	1年に2回

表.3-2-2-2 異常時の点検項目

位置	荒天後	地震後
本体（矢板）	矢板の亀裂・損傷	矢板法線の凹凸
エプロン	沈下 表面の凹凸 ひび割れ	沈下 表面の凹凸 ひび割れ

点検方法としては、腐食・ひび割れ・破損状況の確認は目視により、凹凸・勾配・沈下は計測器を用いて測定する。但し、腐食における二次点検では肉厚測定も必要になる。

③ 変状における健全度の評価

変状連鎖からわかるように、矢板の腐食のみが安定性の低下に結びつき、他の連鎖はすべて機能低下につながる。機能上の観点からの許容限界を表.3-2-2-3に示す。矢板の腐食は、設計外力に対して矢板の発生応力度の許容応力度に対する安全率が確保されない段階となり、さらに腐食が進めば、地震力もしくは常時の土圧によって係船岸が破壊される状態を腐食の許容限界としている。

表. 3-2-2-3 機能上の変状許容限界

位置	点検項目	変状許容限界	理由
本体 (矢板)	矢板法線の凹凸	20~30cm	船舶接岸の安全性
エプロン	沈下	3~10cm	荷役作業の安全性
	表面勾配	順勾配: 3~5%	荷役作業の安全性
		逆勾配: 0	雨水の滞水
	ひび割れ	コンクリート舗装 ひび割れ率: 0.5~2.0m/m ²	荷役作業や車両走行の安全性
防舷材、車止、係船柱	損傷状況	破損	接岸・荷役作業の安全性

④ 補修・対策

変状が許容限界を越して補修・対策が必要と判断されたものは、施設の利用状況、耐用年数等の条件を考慮し、経済的（ライフサイクルを考慮）かつ効率的に補修工事を行う。

d) 材料劣化に関する維持管理³⁻²⁻¹³⁾

① 鋼材の腐食と維持管理

海洋環境下では鋼材の腐食が進みやすく、構造物全体の機能低下が避けられない。そのため、鋼材においては防食工を施した状態で使用するのが普通である。ここでは最も多く使用されている電気防食工の1つである流電陽極方式の維持管理について述べる。

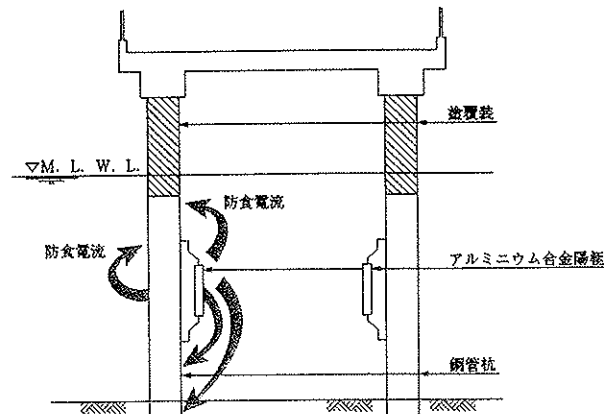


図 3-2-2-4. 流電陽極式概念図

流電陽極方式とは、海水中および海底土中にある被防食体（鋼矢板、鋼管杭等）よりも低い電位の金属（鉄に対してはアルミニウムや亜鉛等）を流電陽極として被防食体に取り付け、両者の電位差により直流電流を発生させ、この電流を被防食体から電解質（海水）へ流れ出ようとする腐食電流と相殺させることにより、鋼材が腐食（イオン化）することを防止する方法である。

流電陽極方式における防食効果を確保するための維持管理手順を図. 3-2-2-5 に示す。点検・調査内容としては、目視観察に加えて、電位測定（識別値: -800mV）・陽極調査（残存寿命の推定）・テストピースによる防食効果の確認（定量的な防食状態の把握）・環境調査（水質により陽極の残存寿命が異なる）の5つである。

健全度評価は調査内容と同様、電位測定と陽極調査を行う。電位差の結果が -800mV 以下の場合には部分的に防食状態が保持できていない可能性があるため、詳細点検が必要である。その際、前回の測定結果等と比較しながら原因究明するとともに、防食状態を回復させるための対策を立案し、実行する必要がある。なお、陽極が消耗している場合や、鋼材

の電位が自然腐食の状態でも長期間経過している場合は、更に鋼材の肉厚測定を行うことが望ましい。

健全度評価の結果、防食状態が正常に保たれていない場合は補修（新しい陽極の取り付け）を行う。また、陽極の設計耐用年数以内に防食状態が保たれなくなると推測される場合には、その原因を究明した上で、対策を検討する。

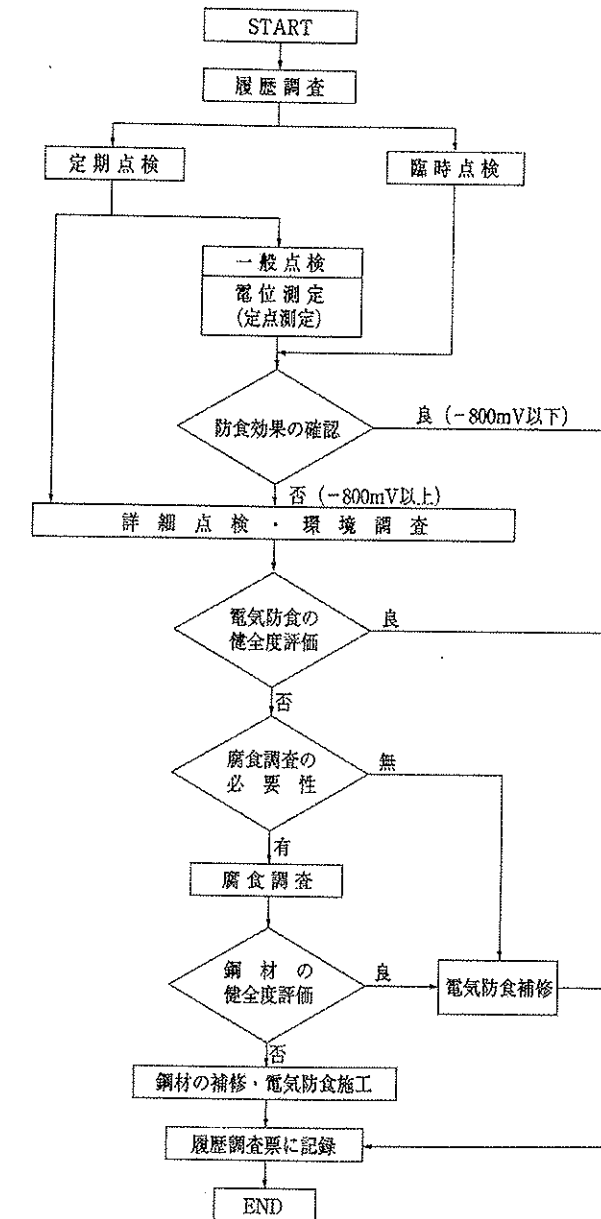


図. 3-2-2-5 電気防食の維持管理手順

② コンクリートの維持管理³⁻²⁻¹³⁾

陸上の構造物に比較して過酷な気象・海象にさらされており、特に塩分によるコンクリートの劣化が多数発生する。ここでは、代表例として塩害により劣化したコンクリートの維持管理手順について説明する。塩害のほかに、アルカリ骨材反応・凍結融解・中性化等の劣化があるが、このような劣化に関しては土木学会「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」に基づいて維持管理する。塩害により劣化したコンクリート構造物の維持管理手順を図.3-2-2-6に示す。

点検・調査内容については、目視によるほか、必要に応じ簡易な測定器を用いて行う。基本的な調査項目は、コンクリートのひび割れ・剥離・剥落・浮き・錆汁、鉄筋の露出・腐食・破断である。

次に調査結果に基づき劣化度の判定を行う。劣化度は0(劣化なし)~Vの6段階に分類され、判定基準に従って評価する。

補修の要否については、劣化度IV以上は直ちに補修し、IIとIIIは詳細調査の上、劣化予測を行い、その結果に基づいて維持管理対策を策定する。なお、劣化度0とIは補修の必要はない。

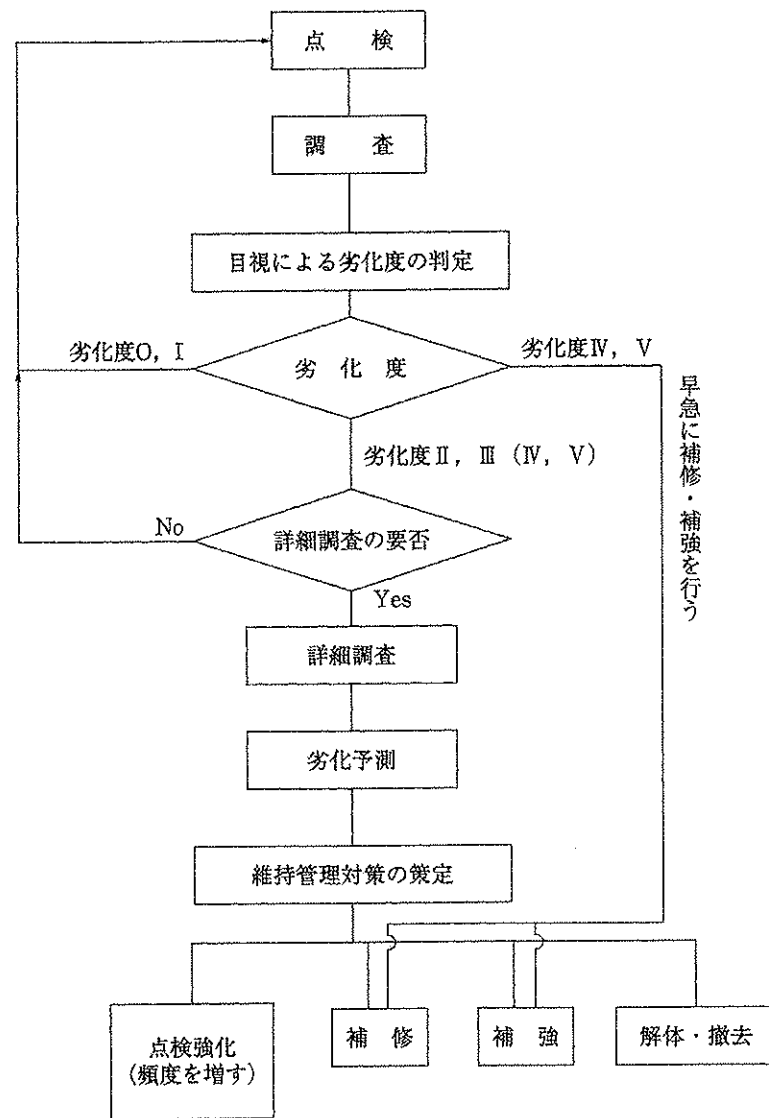


図.3-2-2-6. 塩害劣化によるコンクリートの維持管理手順

e) 港湾構造物におけるモニタリング導入例

① ケーソン設置工事向け海洋工事施工支援システム³⁻²⁻¹⁴⁾

本システムの構成図を図.3-2-2-7に示す。ケーソン上の計測局とケーソンから離れた陸上のGPS基地局と自動追尾トータルステーションの3局との間で観測データのやり取りを行い、ケーソン中心の水平位置と方位角を算出し、無線LANを介してフローティングクレーン船(FC船)に伝送する。一方で、FC船では計測されたケーソンの傾斜データがケーソン計測局から伝送される。これらの2つのデータを合わせて、FC船ではケーソンの位置・姿勢を算出し、ケーソンを設置する。

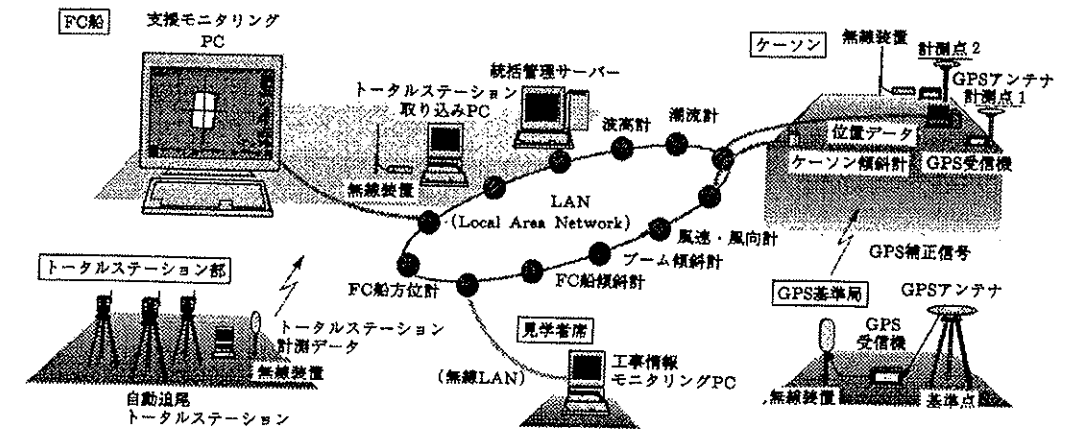


図.3-2-2-7 ケーソン設置工事向け海洋工事施工支援システムの構成

② ICタグを利用した消波ブロックの統合管理³⁻²⁻¹⁵⁾

消波ブロック統合管理システム概念図を図.3-2-2-8に示す。ICタグと二次元コードを一体化した管理タグとデータベースシステムを組み合わせることにより、仕様・製造情報・据付場所・所有者等が一元管理でき、このことにより数量管理・品質管理・施工管理・履歴管理等が効率よく実施できる。

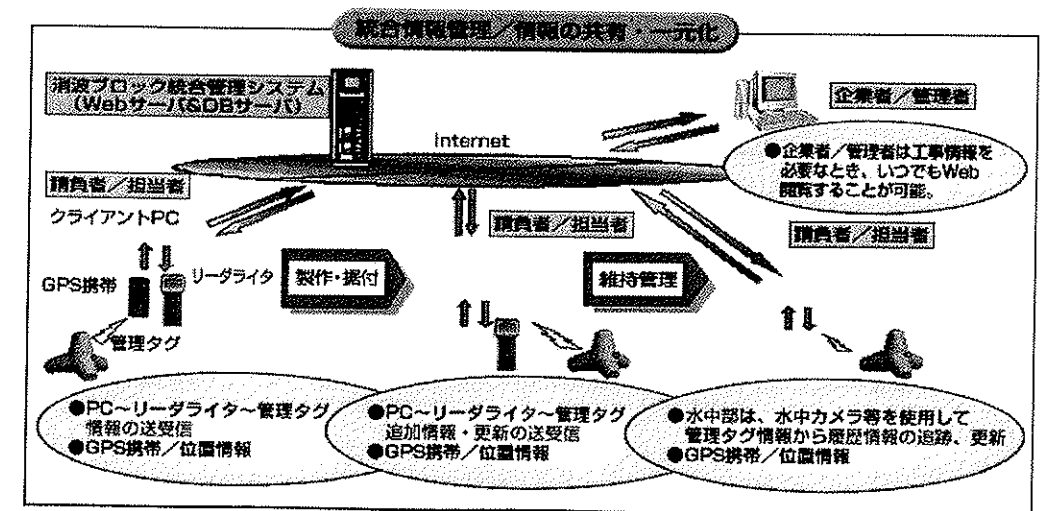


図.3-2-2-8 消波ブロックの統合管理システム

【参考文献】

- 3-2-13) 財団法人沿岸開発技術センター：港湾構造物の維持・補修マニュアル，1999.6
- 3-2-14) 建設機械編集委員会：GPSを用いた海洋工事施工支援システム，2000.4
- 3-2-15) 飛島株式会社：ホームページ

3-2-3. 化学プラント

a) 維持管理の背景

高度経済成長期（1970年代）に建設された化学プラントの割合が多く、30年以上使用の高経年化設備の劣化対策が必要な時期が来ている。高温、高圧機器および間欠運転機器など、材料劣化環境が厳しい設備が多く、高度な維持管理手法や技術に対するニーズが高い分野である。

b) 過去の事故と要因

化学工業のプロセスは、非常に危険な物質の製造、貯蔵および輸送を含むことが多い。システム事故はこれらの工程のいずれか一つで生じる。なお、システム事故とは以下に挙げる危険要因の一つ以上の発生を指す。

- ・ 火災—漏れおよびこぼれた液体やガスの着火
- ・ 爆発—気ガスの着火
- ・ 毒物漏洩

これらのうち、火災が最も普通の事故形態であるが、爆発はより大きな損失と致死性につながる傾向が報告されている。一方、毒物の漏洩は、傷害または死亡につながる影響がこれらと比較して最も大きくなる可能性を持っている。システム事故の発生と影響度の両者は、以下を含む多くの要因に影響を受ける；①物質の反応性や毒性、②プロセスを受ける条件での物質の敏感性（例えば、圧力や温度の高低）。

実際に破壊と事故の技術情報システム（Failure and Accidents Technical Information System; FACTS）という事例データバンクでは、化学工業における主要事故の6%はセットアップとシャットダウンの工程で生じ、約60%は通常の運転で、残りは保守において生じるということが報告されている。化学工業の火災と爆発の典型的な原因を表.3-2-3-1と表.3-2-3-2に示す。明らかに、装置の故障（例えば、ポンプ、パイプ、機器）やヒューマンエラーがシステム事故の支配的な原因となっていることがわかる。

表.3-2-3-1 化学工業における大きな損害の原因

原因	頻度[%]
特定の化学物質の特性に対する不十分な認識	11.2
化学的なシステムやプロセスに対する不十分な認識	3.5
装置の粗悪な設計とレイアウト	20.5
維持管理の失敗	31.0
操作者のエラー	6.9

表. 3-2-3-2 化学工業における火災と爆発の原因

原因	頻度[%]
装置の故障	31.1
不適当な材料評価	20.2
操作上の事故	17.2
化学的プロセスの問題	10.6
無効な損害回避計画	8.0
材料の動作問題	4.4
プラント立地の問題	3.5
不適当なプラントのレイアウトと間隔	2.0

c) 保守管理方式

設備停止による災害・環境面での影響度や損害の度合などにより、重要度評価を行い、重要度ランクに応じた保守管理を行っている。具体的には、時間基準保全方式、状態基準保全方式、事後保全方式を設備重要度に応じて使い分けている。各方式の詳細を下記に示すが、状態基準管理が主流となっているようである。また、一部では信頼性中心保全方式を採用している企業もあり、海外での保守管理方式の導入の試みも盛んである。

・状態基準保全 (CBM; Condition Based Maintenance) :

機器の状態によって分解点検の時期を決める保全方式である。CBM を実行するためには、機器の状態をモニタリングする技術が重要である。これらのモニタリング技術は、一般的には設備診断技術と呼ばれる。

・時間基準保全 (TBM; Time Based Maintenance) :

機器の分解点検を定期的実施する保全方式である。点検周期の設定は過去の実績で求められた故障平均間隔などを基に行われる場合が多い。故障が発生する前に分解点検を行う必要があるために、過剰保全に陥りやすい。

・事後保全方式 (BDM; Break Down Maintenance) :

機器が故障した後に修理を行う保全方式である。設備重要度ランクの低い機器で、故障してもプラントへの影響が少ない機器に適用されるのが一般的である。

・信頼性中心保全方式 (RCM; Reliability Centered Maintenance) :

システムの構造、構成機器の特性、運転状態、保全情報や安全性解析結果などの多角的な情報の運用によって保全戦略を策定し、維持管理を実施する方式である。

化学プラントでは、1985年から時間基準保全を実施してきたが、1989年頃から状態基準保全へと管理方式が変化してきた。その要因として、時間基準保全の本質的な問題と、その解決策としての状態基準保全の特徴は以下のように整理されている。

時間基準保全の本質的な問題点

- ① 予防保全をしても、ある程度の故障は常に発生する。
- ② 予防保全によって一時的に故障率が上昇する。いじり壊し率: 15, 20%のデータあり。
- ③ 保全周期が統計的に決定されるため、過剰保全になる確率が大きい。
- ④ 複雑な機械に対して効果が期待できない。適用できる機械(磨耗劣化型)の割合が少ない。(約10%)
- ⑤ 定期的な予防保全により生産性を阻害する。
- ⑥ 経年劣化に対して、臨機応変な保全計画への変更が困難である。

状態基準保全の考え方の特徴

- ① 定期的に状態観測(診断)を実施し、その結果に基づいて保全の必要性や時期を決める。
- ② したがって、定期的実施されるのは状態観測であり、保全は診断結果がその必要性を示したとき随時行われる。
- ③ 逆に、定期的な状態観測により劣化が生じていないと判断された設備は、運転がそのまま継続される。
- ④ 設備を統計の対象としない。すなわち、設備を個々に観測して決定論的にその信頼性を判断する。
- ⑤ 予測される劣化の想定と、適切な部位、技術、観測周期を決定し、評価する技術が必要である。すなわち、相応の実績データが必要で、臨床的技術である。

d) 維持管理の業態

各種の法規にて規制されているため、一定期間の連続運転後プラントを停止し、定期検査を行うのが一般的である。適用法規の代表的なものは、高圧ガス保安法、消防法、労働安全衛生法などである。各企業はプラント密着の協力会社(コントラクター)に保守業務を発注し、運用している。業種は、機械工事、検査工事、電気工事、計装工事、土木建築工事などである。

e) 人材

高圧ガス設備保安責任者等がプラントの維持管理上、保有が義務付けされている。検査、補修作業に際しては非破壊検査技術者、溶接管理技術者、各種技能講習修了者などが作業内容によって保有が義務付けされている。また、安全作業を遂行するための資格保有も規制されている(例えば、酸欠作業主任者など)。

f) 維持管理の効果

各種の法規制の下，維持管理の高度化が進み，社会に影響を及ぼすような大事故は少なくなってきた。それに伴って，規制緩和も行われている。例えば，高圧ガス施設は自主保安制度が採用され，当局の立会い検査方式から企業の自主検査方式へと移行している。検査周期も当初の1年から4年に延長している事例もある。

また，状態基準保全を導入して保全が高度化されたという事例が国内でも見られる。その報告によると，1984年時点の故障修理件数比率を100とした場合，時間計画保全導入時(1985年)には50%，状態基準保全導入時(1989年)には13%，1994年時点では5%と着実な低下を確認することができる。

g) 維持管理技術の現状

CBM 運用の中心技術として設備診断技術の活用，定着化が進んでいる。機械設備，特に回転機械の診断技術体系を図. 3-2-3-1 に示す。運転時の診断技術では振動法が最も使われており，CBM のツールとして定着している。また，静止機械に使用されている診断技術体系を図. 3-2-3-2 に示す。基本的に設備の停止時の検査が主体となるが，適用技術は非破壊検査技術が最も普及している。近年は，応用技術や応用装置も普及しており，診断方法も多様化している。なお，補修技術は確立されたものがあるようである。

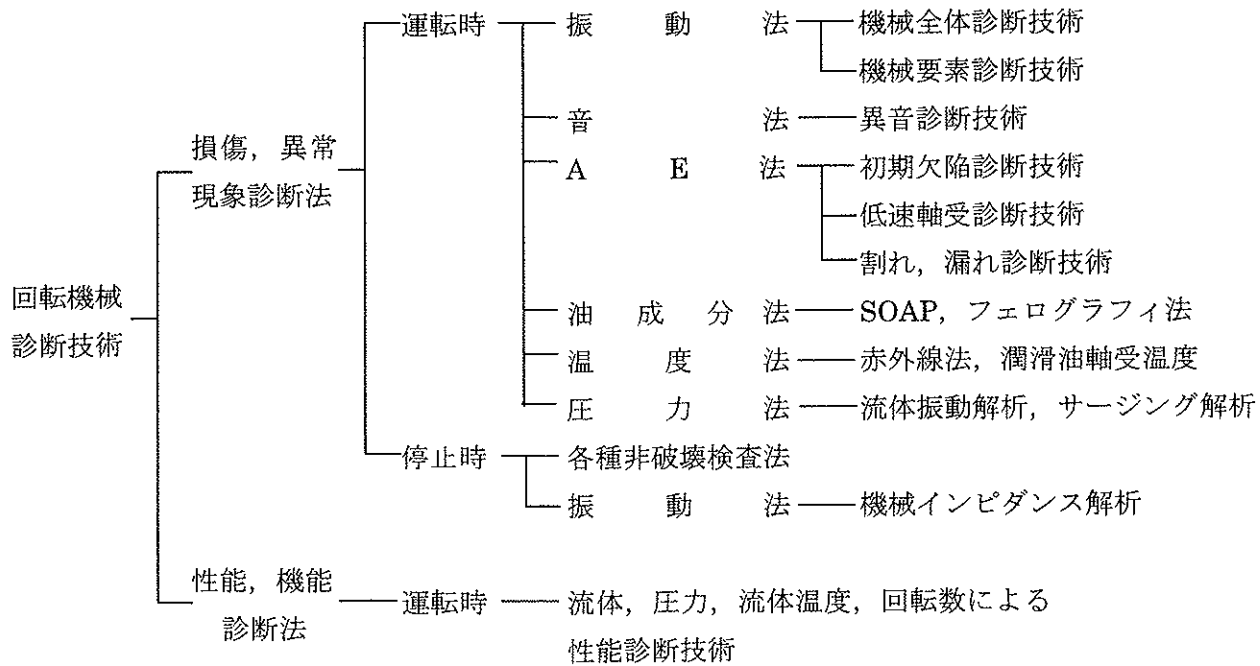


図. 3-2-3-1 回転機械の診断技術体系

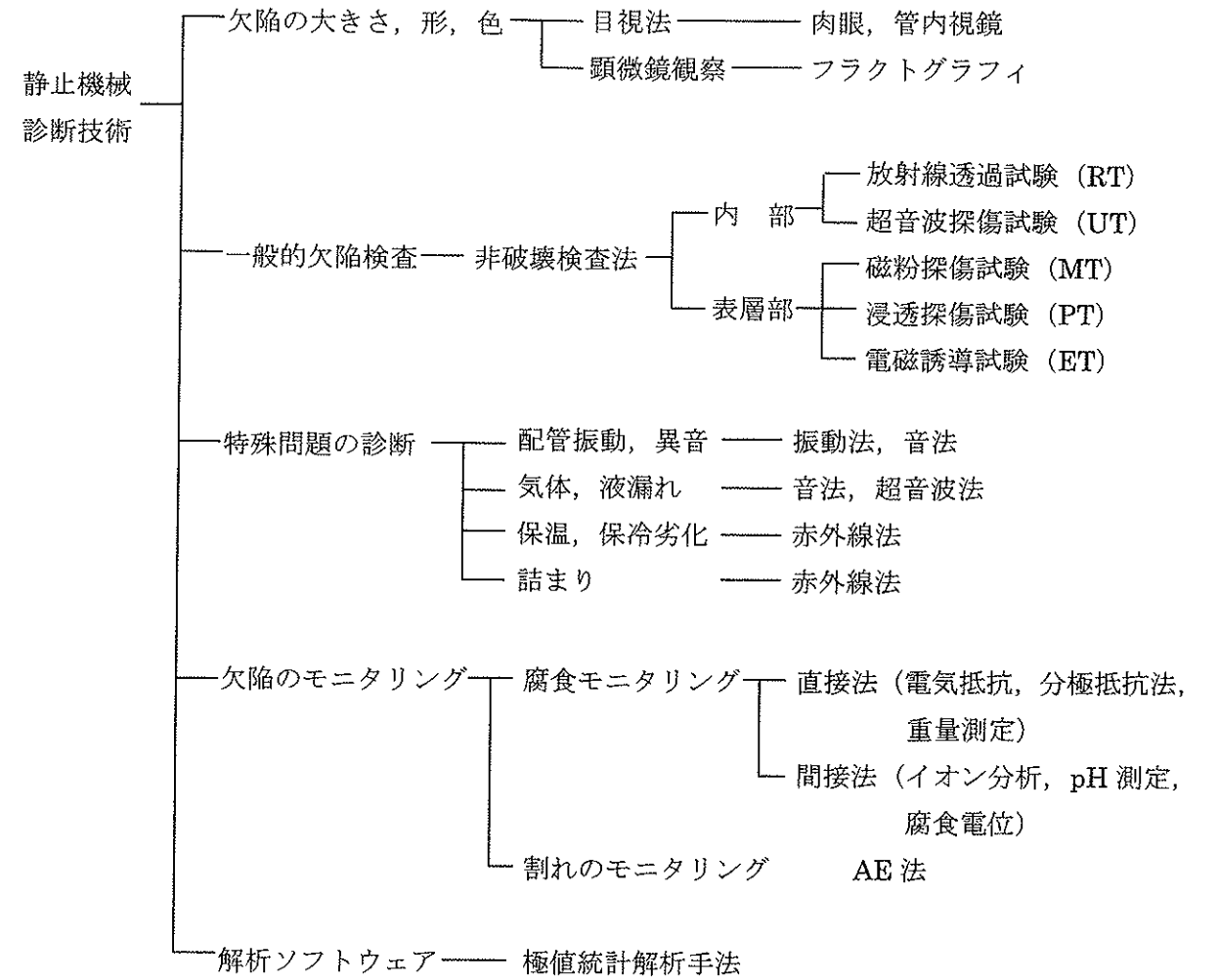


図. 3-2-3-2 静止機械の診断技術体系

h) 土木構造物との相違

- ・多数の部材・部品が階層的に組み合わされて，1つのシステムを構成（共通）
- ・最下位の部材・部品の故障がシステム全体の故障に発展するまでのタイムラグが短い。
- ・化学物質と接触する部材・部品が多い。
- ・部材・部品の陳腐化リスクが存在する。
- ・今後も機能やサービスレベルが向上する可能性がある。

i) 新技術（パイプラインを対象として）

わが国の製鉄所においては，ユーティリティー配管を含む主要設備は他のプラントと同じように'60～'70年代の高度成長期に建設されている。製鉄所内のガス配管は，コークス炉や高炉，転炉などで発生するガスを，燃料として各設備で利用するためのものであり，こ

これらの輸送には直径 1000～4500mm 程度の鋼製配管が地上 4～5m の架台上に設置されている。水配管については、ほとんどが埋設配管である。

また、ガス導管に関しては、1980 年（昭和 55 年）頃から維持管理への関心が高まってきた。それは、古いガス導管では敷設後 30 年近く経過するようになったため、ガス事業者においては保安向上への取り組み姿勢を強化し、さらに建設した導管を長寿命化させようという経済性の追及もあったと思われる。

ガス導管に関する主な診断項目としては、溶接部の診断、塗覆装診断、腐食診断、架管診断、沈下・応力測定、埋設物探査、他工事による損傷対策がある。この中で、プラント特有の塗覆装診断、腐食診断、架管診断の診断内容を紹介する。

(1) 塗覆装診断

既設埋設管の塗覆装の損傷を非掘削で検出可能な探査装置として、磁界法による方法、電位法による方法が用いられている。前者は、外面塗覆装損傷状況を地上から非接触で探査する装置であり、地上から交流電流を流し、塗覆装損傷部における漏洩電流によって起こる磁場の乱れを検知する方法である。一方、後者は、埋設配管への印加信号として M 系列信号（交流電流）を使用し、地表面における検出信号に対して相関処理を行なうことにより、地電流、誘導電流などのノイズ信号の影響を抑制し、高感度な信号検出を実現している。前者は鉄筋コンクリート舗装下の埋設管にも適用可能であり、後者は主として通常舗装下の埋設管に広く適用されているようである。

(2) 腐食診断

埋設管の腐食状況を把握するためには、塗覆装損傷部を掘削する方法が最も確実であるが、非常に費用がかさむことになる。そこで、これに代わる方法として、管内検査ピグが開発されている。また、管外面の腐食診断として、レーザーデプスゲージを用いた腐食形状の測定、塗覆装を剥離させることなく診断できる X 線による腐食診断、ガイド波による長距離（標準 10m）の腐食診断方法がある。

(3) 架管診断

橋梁などに添架されている架管数は多く、これらの保守点検も重要な管理項目となっている。診断に関しては、自走機能を有した装置が適用されつつある。例えば、桁上から桁下にアームを延ばして、桁下架管の目視検査、非破壊検査が可能な装置、架空配管軸上を自走して、肉厚測定を行なう装置がある。

(4) 埋設物探査

当初は工事にあたって、他の埋設物の損傷を避けるためであったが、その後、他の埋設物調査として行なっていた試掘溝を小さくして合理化を図る事や、既設埋設物の有無の確認が工事能率の向上に大きく寄与することが明らかとなったことから、レーダー方式の埋設物探査機が開発されている。

j) その他 (FACTS)

FACTS (Failure and Accidents Technical Information System) は、オランダ応用科学研究機関 (TNO, The Netherlands Organization for Applied Scientific Research) が 1970 年代後半に作成した破壊・事故の技術情報システムである。過去 90 年間に世界各国で発生した 21,800 以上の工業事故（危険有害物質を含む）を収録している。データベース FACTS は、事故を教訓に、同様の事故が将来に発生することを防ぐことを目的としている。FACTS に収録されている情報は、民間企業や政府代理機関によって作成された事故調査レポートや、その他の出版物が中心であり、機密性の高い情報については匿名で扱っている。

FACTS の情報は次の 3 段階のレベルで管理されている。第 1 段階は事故テーブル (accidental table) であり、当該事故の主な特徴に関する概要が記載されている (図. 3-2-3-3)。第 2 段階は事故概要 (accidental abstract) であり、識別番号とともに、事故の解説が記載されている (図. 3-2-3-4)。第 3 段階は拡張アブストラクト (extended abstract) であり、利用可能であれば完全な原文情報を記載している。ただし、FACTS の情報を閲覧するためには会員として登録することが必要である。現在、FACTS の主なユーザーは、化学・石油・エネルギー部門の安全・環境担当マネージャー、安全・環境コンサルタント、エンジニアリング会社、保険会社、事故等の緊急対応機関、消防や安全教育センター、大学等の研究機関 (化学工学) である。

Meta information (level 1 licence) part of coded abstract	
Class/Quality	****
Year	2003
Summary	Collision on slight bend of tunnel caused huge Explosion, fire, damage to tunnel and 2 casualties
Country	Japan
Activity	Roadtransport
Location	Tunnel
Chemicals	Benzine (fp<21/C) (gasoline)
Cause	Human-failure
Fatalities/Injuries	2 / No
Occurrences or events	Drive, Drive, Oscillate/Swerve Collision, Ignition, Explosion Fire, Traffic-interruption, Fire-fighting

図. 3-2-3-3 FACTS のデータベース事例 (レベル 1)

Extended abstract (level 2 license)		
<ul style="list-style-type: none"> The text of the accident contains 157 words. The attribute data contains 40 records. 		
Accident report		
<p>A head-on collision between a dumper truck and a tanker truck happened around 1350 hours on a slight bend about 50/meters from the north end the tunnel on a national highway (mountainous road), which is covered with a concrete roof to guard the highway from rockfalls. The tunnel is about 320/meters long and has a double lane. A road tanker (tankvehicle) carrying 10/m3 of gasoline crossed into the opposite lane, collided head-on, causing an explosion. The huge explosion was caused when the fuel it was carrying ignited. The dumper truck was transporting gravel. The fire was put out after about an hour and 20 minutes, but authorities and local police say traffic remains halted at the scene. The bodies of the burned drivers, respectively 66-year-old and 38-year-old, were recovered from the wreckage some 80 minutes after the accident. About a 50-meter stretch of the interior of the tunnel was damaged.</p>		
Code	Value	Text
Class	***	-
Abstr	Extended abstract english	-
Address	j	-
Adate	2003	-
Time		1350
Activ	Roadtransport	Running
Loctn	Tunnel	Tunnel (concrete covering of highway)
Cause		
Cause	Human-failure	-

図. 3-2-3-4. FACTS のデータベース事例 (レベル 2)

また FACTS の関連ソフトウェアとして、FRIENDS と EFFECTS がある。FRIENDS は FACTS に収録されている全事故情報のオンラインサマリーを閲覧することができる。FRIENDS には負傷や死亡に関する情報だけでなく、危険有害物質に関する情報が収録されている。一方、EFFECTS は可燃性物質、あるいは有毒物質が放出した後の物理的な影響を定量化するソフトウェアである。

【参考文献】

- 3-2-16) (財)エンジニアリング振興協会：平成 14 年度 産業・社会資本構造物に係わる廃棄物のリデュースのための高度維持管理・メンテナンスシステムの構築, 2003.3
- 3-2-17) 酒井信介監訳：技術分野におけるリスクアセスメント, 森北出版株式会社, 2003.10
- 3-2-18) 非破壊検査 2006 Vol.55 No.6
- 3-2-19) 日本鋼管株式会社：ガス導管建設工事 50 年の歴史, 1999.10
- 3-2-20) FACTS に関する Web サイト：http://www.factsonline.nl/Home/tabid/173/Default.aspx

3-2-4. 鉄道車両

a) 背景

1872 年 (明治 5 年), 新橋～横浜間において, 鉄道の営業運転が開始して 130 年余りが経った。営業開始当初は, 蒸気機関車や馬車によっていたが, その後, 電気鉄道が登場し, 1964 年 (昭和 39 年) には東海道新幹線が営業運転を開始した。鉄道は, 公共輸送手段として, 何よりもその安全性が問われるものであり, 後に述べるように鉄道創業初期の段階から国によって, 鉄道の点検に関する法律が制定され, その後, 様々な変遷を経て今に至っている。ここでは, 鉄道車両の点検に関する基準類, 点検の実態について述べる。

b) 鉄道車両の点検に関する基準類 ³⁻²⁻²¹⁾ ³⁻²⁻²²⁾

鉄道車両の点検について定めた省令, 基準等について, 主なものとして以下のものが挙げられる。

- ①鉄道営業法 (明治三十三年三月十六日法律第六十五号)
- ②鉄道に関する技術上の基準を定める省令 (平成十三年十二月二十五日国土交通省令第百五十一号)
- ③施設及び車両の定期検査に関する告示
- ④鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準について

「①鉄道営業法」の規定に基づき, 「②鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が定められている。②の中で車両の点検に関して, 『第九十条 施設及び車両の定期検査は, その種類, 構造その他使用の状況に応じ, 検査の周期, 対象とする部位及び方法を定めて行わなければならない。』と謳われている。省令はいわゆる性能規定となっており, 定期検査のより具体的な内容に関しては, 「③施設及び車両の定期検査に関する告示」がだされており, その中で『第五条 (車両の定期検査) 車両については, 別表の上欄に掲げる車両の種類ごとに, それぞれ同表下欄に掲げる期間を超えない期間ごとに定期検査を行わなければならない。ただし, 耐摩耗性, 耐久性等を有し, 機能が別表の下欄に掲げる期間以上に確保される車両の部位にあつては, この限りでない。』とされている。この告示は, 定期検査の間隔について定めたものであり, 定期検査で何をどのように検査するかは, 告示, 省令等の内容を具体化, 数値化した標準的な解釈として, 「④鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準について」に定められている。この解釈基準では, 以下のような詳細な点検の要領が記されている。

- 1 重要部検査及び全般検査の検査項目及び検査方法
- 2 車両の静止輪重の管理

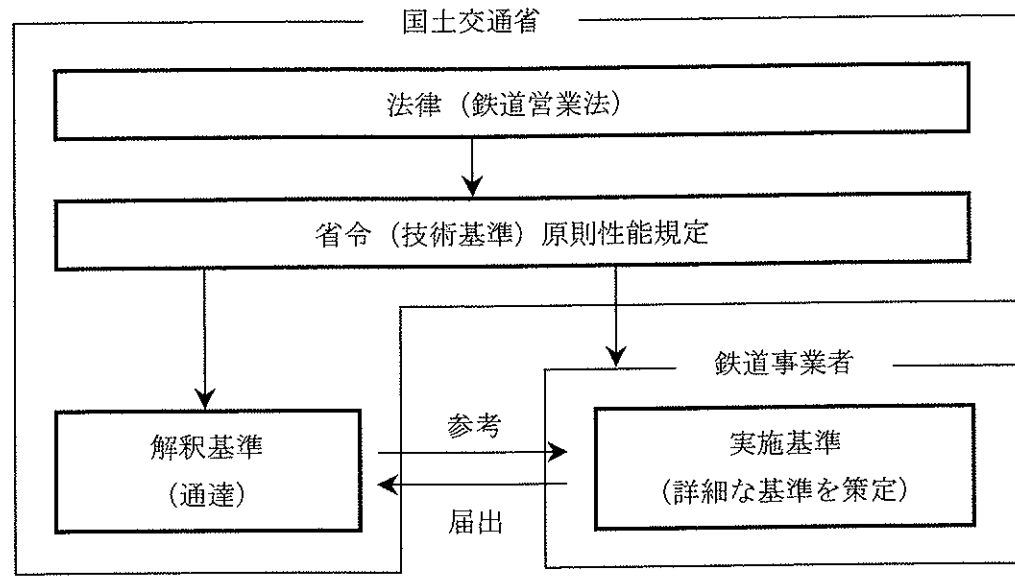


図. 3-2-4-1 鉄道車両の点検に関する基準類

- 3 絶縁試験について
- 4 車軸の検査方法について
- 5 制動力を1つのブレーキシリンダーで得る構造を有し、かつ単車で運行する車両のブレーキ装置の検査方法について
- 6 台車枠の検査方法について
- 7 告示第5条のただし書以下による検査の周期について

この解釈基準によれば、鉄道車両の検査項目、検査周期は表. 3-2-4-1 に示す通りであり、各鉄道会社が独自の検査要領を作成し、新幹線の場合は国土交通省、それ以外の鉄道車両の場合は地方運輸局に届け出ることとなっており、各社独自の検査要領で鉄道車両の点検を行っている。省令等と鉄道業者の基準の関係を図. 3-2-4-1 に示す。

c) 鉄道車両の損傷と点検 (3-2-23) 3-2-24)

鉄道車両において最も重要な点検を要する箇所は台車である。台車は、乗客を乗せた車体を支持しながら、軌道上を円滑に且つ安全に走行するという重量な役割を担っている。台車は、

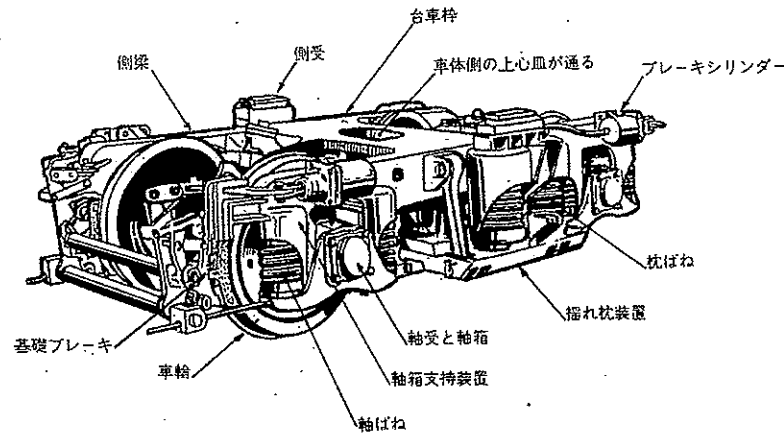


図. 3-2-4-2 一般的な台車

表. 3-2-4-1 鉄道車両の点検周期

車両の種類	状態・機能検査		検閲		全般検査
	一月	四月十日	一年	二年六月	
蒸気機関車			一年	二年六月	三年
貨車			一年	二年六月	四年
電気機関車			三月	三月	五年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから四年) 八年
内燃機関車及び内燃動車			三月	三月	四年又は当該車両の走行距離が五十万キロメートル(手操縦型)の内燃機関車又はクラッチ機構を有するものについては、二十五万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間 四年又は当該車両の走行距離が六十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間
その他の新幹線以外の車両			三月	三月	八年
新幹線の電車			三十日又は当該車両の走行距離が三十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間	三十日又は当該車両の走行距離が三十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間	三年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから二年六月)又は当該車両の走行距離が二十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間
新幹線の貨車			九十日	九十日	五年
その他の新幹線の車両			九十日	九十日	六年
貨車			三月	三月	六年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから六年六月) 七年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから七年六月)
内燃機関車及び内燃動車			三月	三月	七年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから四年)又は当該車両の走行距離が二十五万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間
その他の新幹線以外の車両			三月	三月	七年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから四年)又は当該車両の走行距離が四十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間
特殊車			三十日又は当該車両の走行距離が三十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間	三十日又は当該車両の走行距離が三十万キロメートルを越えない期間のいずれか短い期間	三年(新製した車両に対する使用開始後最初の検査については、使用を開始してから四年)
新幹線の貨車			九十日	九十日	六年
その他の新幹線の車両			九十日	九十日	七年

台車枠、車輪・車軸、車軸受、電動機、バネ装置等から構成されている。一般的な台車の構造を図. 3-2-4-2 に示す。

台車を構成する台車枠は、車輪・車軸、車軸受とともに、台車の強度部材を決定する重要部品であり、昭和 31 年以降は一部の台車を除いて主に板厚 9mm の圧延軟鋼板を用いた溶接構造となっている。昭和 40 年代後半～50 年代に製造された台車枠において、疲労損傷が発生し、その内の何件かは、折損による脱線事故に至った。また、初代東海道新幹線の車両である 0 系新幹線の台車枠においても疲労損傷が発生している。

損傷の主な原因は、

- ①設計強度不足
- ②溶接溶け込み不良の存在
- ③応力集中を増大させる溶接形状不良の存在

という基本的なものとなっている。疲労損傷が現在よりも多く発生していた昭和 59 年の統計では、検査した台車の約 10%に損傷が発見されていた。また、損傷の大部分は溶接部を起点とする長さ 50mm 以下の比較的軽微な疲労き裂であった。最も重大な損傷は、疲労き裂が進展し脆性破壊を伴い折損破壊に至る可能性のある損傷であるが、図. 3-2-4-3、図. 3-2-4-4 に過去に発見された疲労き裂の長さや台車の使用年数、または累積走行距離との関係を示す。使用年数 4 年程度あるいは、累積走行距離 150 万 km の走行後という比較的早い段階に損傷が発見されたデータもある。

損傷の発生を防止するには、溶接品質の確保、疲労強度の確保が必要であり、溶接溶け込み不良を無くするため、現場にて比較的容易に適用可能な超音波垂直探傷法や、磁粉探傷法のようなごく一般的な非破壊検査手法の導入や、溶接設計・施工方法の改善等に取り組んできている。その結果、近年では台車枠における疲労損傷の発生は激減している模様である。

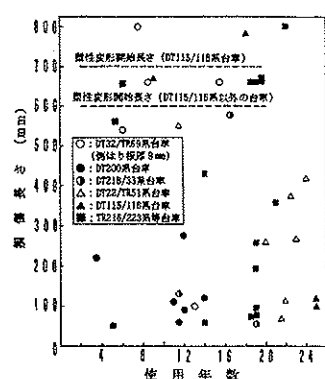


図. 3-2-4-3 き裂長さと使用年数

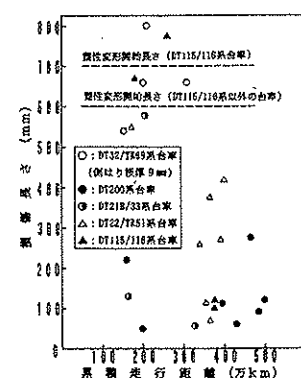


図. 3-2-4-4 き裂長さと累積走行距離

d) 鉄道車両の点検の実例

鉄道事業者は、b) で述べた各種の基準に従い、各社が所有する車両基地において、車両の点検を行う。基本的に各事業者はそれぞれの点検設備を有しているが、小さな事業者においては、他の事業者に点検を委託することもあるようである。

ここでは、鉄道車両の代表例として東海道新幹線の点検について例を挙げて説明する。新幹線電車の検査種類及び検査周期は以下に示す通りである。

- ①交番検査：30 日以内又は 3 万 km 以内
- ②台車検査：12 箇月以内又は 45 万 km 以内
- ③全般検査：36 箇月以内又は 90 万 km 以内

次に各検査の概要を以下に示す。

- ①交番検査：
 - 消耗部品の点検や運転機能に必要な不可欠な項目の確認、電気機器類の点検など、異常があれば運転に支障を及ぼす部位の検査
- ②台車検査：
 - 主電動機、電力伝達装置、台車、走り装置、ばね装置、ブレーキ装置の主要部分を取外し、または解体のうえ細部について行う検査
- ③全般検査：
 - 主要部分を取外し、または解体のうえ細部について全般にわたって行う検査

ここでは、全般検査及び台車検査について、その内容を詳細にみていくこととする。東海道新幹線 700 系車両の台車を図. 3-2-4-5³⁻²⁻²⁵⁾に示す。これは台車の 1 例であり、他の種類の台車も当然ある。新幹線電車整備取扱細則によって、台車の各部分について、その点検方法が細かく決められてはいるが、特に新しい技術を取り入れているというわけではないようである。台車にはき裂があつてはならず、安全性が重要視される部分であるので、全般検査の際には基本的に、すべて分解して、目視、磁粉探傷、浸透探傷、超音波探傷などで検査が行われている。基本的に、台車の変形等、目でみて分かるものに



図. 3-2-4-5 東海道新幹線 700 系車両の台車

については目視により、き裂などは、その他の検査手法によっている。台車検査の際には、主に、交換周期を向かえた部材や、輪軸、ブレーキを点検し、その他の部材については目視により点検を行う。

台車枠は、軸バネ装置や軸受を介して輪軸を取付け、また、揺れ枕装置や枕バネ装置を介して車体を支える重要な部品である。近年はボルスタレス台車が一般的であり、東海道新幹線では、300系以後の車両ではボルスタレス台車を採用している。300系以降のボルスタレス台車においては、板厚8mmの鋼板を使用し、H型の枠組みに形成されており、左右両側の側梁とこれを結ぶ横梁から構成されている。揺れ枕梁（ボルスタ）とは車体と台車枠を、枕バネを介してつなぐ部品であり、上下方向の動きを吸収・緩和するものである。これに対し、ボルスタアンカは、前後方向の動きを伝達する役割を担っている。ボルスタ、ボルスタアンカはまず、目視により傷の有無の確認を行い、さらに、磁粉探傷法によって詳細に点検を行っている。ボルスタレス台車では、ボルスタが担っていた役割をけん引装置が担っている。けん引装置の方式はいくつかあるが、新幹線でも採用されているリンク式が一般的となってきた。この一本リンクについても、全般検査、台車検査の際には分解し、磁粉探傷法により点検を行っている。

軸箱支持装置とは、自動車のサスペンションに相当するものである。軸箱内部には輪軸を受けている軸受があり、軸箱に付いている軸バネと台車の側梁との上下方向の動きを許容しながら、前後と左右方向については軸箱を台車枠にしっかりと支持するものが軸箱支持装置である。軸箱支持装置にも各種あり、0系、100系新幹線では支持板バネが用いられていた。全般検査時にはこの支持板バネを磁粉探傷法を用いて点検する。

輪軸とは車軸のことであり、その両端には軸受、軸箱があり、車輪、車輪の両側にはディスクブレーキ装置が付いている。車軸については超音波探傷法、ディスクブレーキについては、70mm以上の傷がないことを確認し、また磁粉探傷法により、疲労き裂の有無を点検している。車輪についても、車輪・車軸内輪をはずして磁粉探傷法により点検する。特に輪軸については、高速で回転し、曲げモーメントやねじりを受ける重要な部品であるが、安全のために軸を太くすると新幹線の高速運行ができなくなり、逆に細くすると折損につながるおそれがある。輪軸に発生する疲労き裂をなくす軸の研究開発が進み、1970年代以降は輪軸に発生する疲労き裂による取替えが激減している。さらに、この輪軸の設計手法はJISに規定されており、20年間以上、疲労によって折損することがない設計がなされている。点検時には、先に述べたように、軸表面に傷当がないか目視により確認し、内部欠陥については中空断面の車軸は車軸内に探触子を挿入し、中実断面の車軸は表面から探触子を当て、超音波探傷を行っている。点検により深さ0.15mm以上の傷が見つかった場合には取り替えることとなっている。また、車輪と接する部分については、磁粉探傷によりき裂の有無を点検している。

軸箱と台車枠を接続しているバネを軸バネといい、一般にコイルバネが使われている。また、コイルバネの内側には案内シリンダがあり、全般検査の時にはこれら軸バネ、案内シ

リンダとも磁粉探傷法により点検している。

e) 鉄道車両の点検に関する新技術

台車の点検にこれまで用いられてこなかった技術で、点検技術として調査、研究が進められている技術としては、渦流探傷法や、AE法などがある。AE法は、1990年代に軸受の転がりき裂の点検に関して研究がなされている。しかし、鉄道車両の点検の分野においては、車両の安全が重要視されるため、新技術の導入には非常に慎重であり、新技術が点検技術として認められるには、ある程度の実績が必要であり、まだ実用には至っていないのが現状である。

【参考文献】

- 3-2-21) 電子政府の総合窓口のHP, <http://www.e-gov.go.jp/index.html>
- 3-2-22) 国土交通省鉄道局のHP, <http://www.mlit.go.jp/tetudo/>
- 3-2-23) 財団法人研友社, 溶接台車枠の強度と保守, 長瀬 隆夫, 1999.11
- 3-2-24) 伊原一夫: 鉄道車両メカニズム図鑑, 1987.9.10 初版, 株式会社グランプリ出版
- 3-2-25) 上林賢治郎: 700系新幹線電車(量産先行車)の概要(8), 鉄道車両と技術9月号, 1998.9.10, 有限会社レールアンドテック出版

3-2-5. 天井クレーンの点検技術

a) 背景

天井クレーンは、一般に数十年に渡り設置、使用されているが、近年、輸送量の増加や、高速化に伴い、設計時に想定した稼働率をはるかに越える頻度で使用されている。このため、過去には、天井クレーンのガーダから発生した疲労き裂が原因でクレーンガーダが落下する事故も起こっている。1960年代高度経済成長期に造られたクレーンの中には、当時の溶接技術が未熟であったこと、非破壊検査が十分でなかったことなどの理由から、クレーンガーダ部に溶接欠陥が存在している可能性がある。天井クレーンは、吊り荷の荷重も数十トンと重く、ガーダが落下すれば大惨事になりかねない。製造後50年を迎えるクレーンが使用されている今、天井クレーンの維持管理の重要性は増している。ここでは、天井クレーンの点検に関する基準類、点検の実態について述べる。

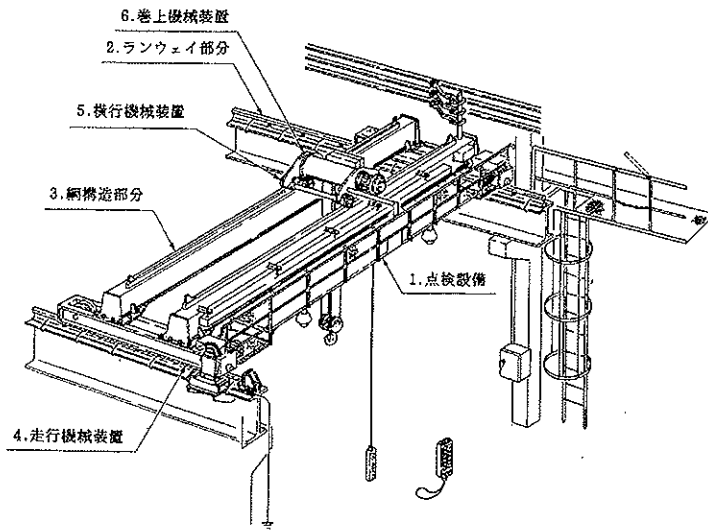


図. 3-2-5-1 天井クレーンの例

b) 天井クレーンの点検に関する基準類 3-2-26) 3-2-27) 3-2-28)

天井クレーンの点検について定めた省令、基準等について、主なものとして以下のものが挙げられる。

- ①クレーン等安全規則（昭和四七・九・三〇 労働省令第三四号）
- ②クレーン構造規則
- ③天井クレーンの定期自主検査指針
- ④ホイスト式クレーンの定期自主検査実施要領

「①クレーン等安全規則」では、クレーンの検査、点検の周期を表. 3-2-5-1 のように定めている。また、各検査の概要を表. 3-2-5-2 に示す。

また、天井クレーンに関しては、①を満足するため、「③天井クレーンの定期自主検査指

表. 3-2-5-1 点検周期

年次定期自主検査	1年以内ごとに1回（第三十四条）
月次定期自主検査	1月以内ごとに1回（第三十五条）
作業開始前の点検	作業開始前（第三十六条）
暴風後等の点検	暴風後又は地震後（第三十七条）

表. 3-2-5-2 点検内容

年次定期自主検査	クレーン定格荷重に相当する荷重の荷をつつて、つり上げ、走行、旋回、トロリの横行等の作動を定格速度により行う
月次定期自主検査	安全装置、警報装置、ブレーキ、クラッチの異常の有無、ワイヤーロープ、チェーンの損傷の有無等について、自主検査を行う
作業開始前の点検	巻過防止装置、ブレーキ、クラッチ等の機能、レールの状態などについて、その日の作業を開始する前に点検を行う
暴風後等の点検	瞬間風速が30m/sec以上の風が吹いた後、中震以上の地震の後に作業を行う場合は、クレーン各分の異常の有無について点検を行う

針」が定められている。③に記載されている点検項目のうち、天井クレーンの鋼構造部に関する自主点検項目として表. 3-2-5-3 に示す。

③をさらに噛み砕いたものが④となる。

c) 天井クレーンに発生する損傷例 3-2-27) 3-2-28) 3-2-29)

天井クレーンの鋼構造部に発生する損傷としては、疲労き裂、磨耗、電機関係の不具合などが挙げられる。古いデータではあるが、日本機会学会が、1979年4月～1982年3月までの3年間に1631台の天井クレーンを対象に各部の損傷によるトラブルの発生について調査している。図. 3-2-5-2 に部位別の損傷発生割合を示す。また、損傷の原因としては、疲労、磨耗等が挙げられ、その中でも疲労が圧倒的に多く発生していた。クレーンに発生する疲労き裂の主な発生部位を図. 3-2-5-3 に示す。疲労き裂は見つからずに進展すると、クレーンガーダが破断、落下するという大惨事につながる恐れがある。過去においてそのような損傷事例がいくつか起こっているのだからそれらについて紹介する。

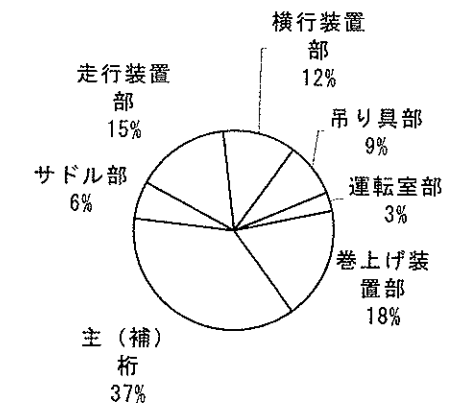


図. 3-2-5-2 損傷発生割合

表 5-2-5-3 クレーンの点検項目

検査項目	検査方法	判定基準
2.1 運転室 (運転台)	(1) 運転室 (運転台) とガードの取付け部分 (2) 表示	[1] き裂がないこと。 [2] 確実に固着していること。 表示があること。
2.2 ガーダ及びサドル	(1) 構造部	[1] 異常変形又は著しいねじれがないこと。 [2] き裂がないこと。 [3] 著しい腐食がないこと。 [4] 緩み、脱落、き裂又は著しい腐食がないこと。
2.3 機軸レール	(2) ガーダ (3) その他 (1) 重輸止め (2) 取付け部 (3) レール	たわみがスパンの1/800以下であること。 著しいさび、はがれ又はふくれがないこと。 き裂、損傷又は脱落がないこと。 [1] 脱落がないこと。 [2] き裂がないこと。 き裂、変形、異常磨耗又は著しいダレがないこと。
2.4 トロリフレーム	構造部	[1] き裂又は著しい変形がないこと。 [2] 著しいさび、はがれ又はふくれがないこと。 [3] 緩み又は脱落がないこと。

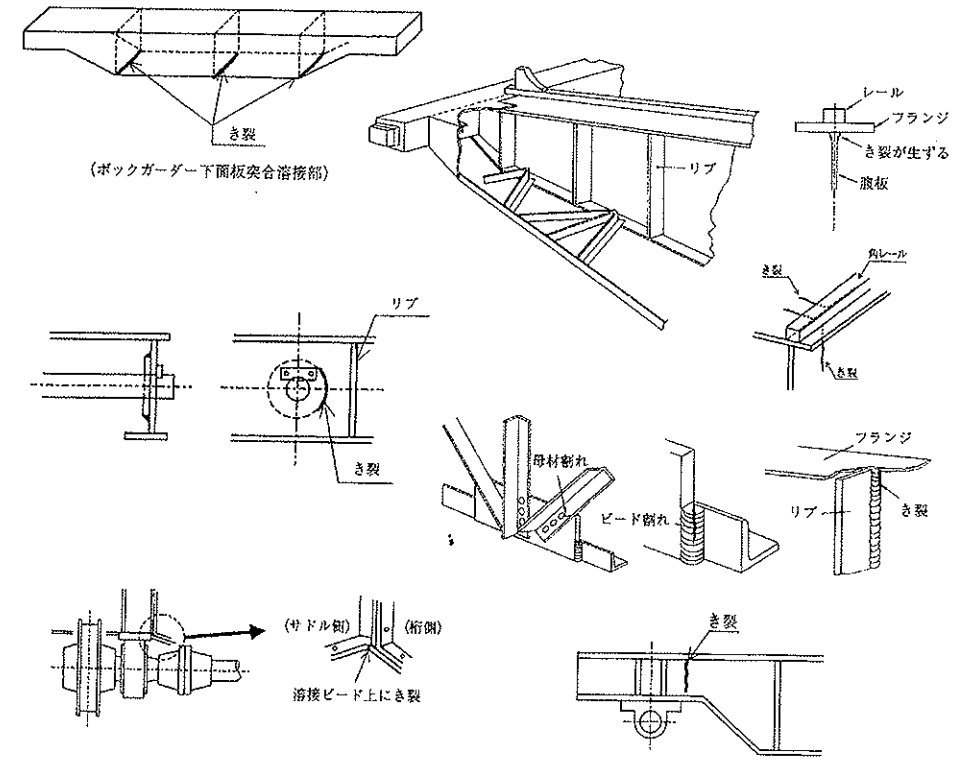


図. 3-2-5-3 き裂発生箇所

損傷例 1

製鉄所のコイルヤードにおいて、トラスガーダ構造の天井クレーンで吊荷を吊り上げ中、異常音が発生し使用不能となった。点検の結果、支間中央付近において、ガーダ下弦材の下フランジ板継溶接の未溶着部から疲労き裂が発生、ウェブに進展し下弦材を破断していることが判明した。ウェブの破面にはビーチマークが形成されており、疲労き裂によって破壊に至ったことが確認された。上弦材、下弦材のそれぞれについてフランジの板継溶接部を超音波探傷により検査したところ、数箇所未溶着部が発見された。

損傷例 2

製鉄工場において、支間 28m の 2 本のボックスガーダからなる天井クレーンの一方のガーダが破断、吊荷とともにガーダが落下した。落下状況を図. 3-2-5-4 に示す。き裂はガーダの下フランジとウェブの首溶接部に存在した溶接欠陥 (クレータ) を起点とし、き裂の一方はウェブを上方に向かって進展し、もう一方は、下フランジの突合せ溶接部を破断、箱断面の反対側のウェブにまで進展していた。



図. 3-2-5-4 落下状況

溶接欠陥は 1965 年のガーダ製作当時に作られたものと考えられ、破断までに 31 年を要した。ガーダの下フランジ突合せ溶接部には開先が取られておらず、板厚中心部には未溶着部が存在していた。このクレーンでは、定期的なたわみの測定が行われていたが、たわみの変化からき裂を発見することはできなかった。

最近では溶接技術の進歩等により、このようなガーダの破断事故は発生していない。また、ガーダは、重要部材であり、たわみの許容値が 1/800 であるが、実際のクレーンにおいては、1/2000 程度のたわみしか発生しないほど、安全率をもった設計がされている。したがって、ガーダに発生する応力も低く、この部分からの疲労損傷は起こらなくなってきているのが現状である。点検業者に行ったヒアリングでは、特に重点的に点検する箇所は、不具合があれば即、重大な事故につながる恐れがある巻上げ機、ワイヤーロープ、ブレーキなどである。また、車輪の軸受周辺では、疲労損傷が発生する可能性がある。

d) 天井クレーンの点検の実態

天井クレーンを有する事業者は、先に記した省令にしたがって、年次定期自主検査、月次定期自主検査等を行う必要があるが、実際の点検は、専門の点検業者に任されていることが多いようである。クレーンは b) で記したように、年次点検が義務付けられている。年次点検では、日本クレーン協会の点検員が各事業所を訪れ、クレーンの点検を行う。その点検に合格すると、ステッカーを授与され、このステッカーのないクレーンは使用してはならないこととなっている。天井クレーンでは、点検できない箇所が多数存在する。例えば、クレーンガーダの側面及び下面などは、人が行くことができないため、点検が非常に困難である。また、製鉄所などのクレーンでは、粉塵等によりクレーンが汚れているため、目視によるき裂の有無の確認は困難である。これらの箇所についても、高所作業車等を使用したり、清掃してからであれば点検できないこともないが、多大なコストと時間を必要とすることは明らかである。

天井クレーンの点検箇所の内、鋼構造部分は、クレーンガーダ及びサドル、横行レール、トロリフレームとなる。これらの箇所について、ガーダの撓み、溶接部のき裂の有無、塗膜の状態、ボルトの緩みなどを点検する。点検は目視で行う箇所が多い。したがって、点検者の技能によるところが大きく、点検者は、過去の経験から損傷の有無、状態について判断している。また、クレーンの運転者の情報は有益な判断材料となるようである。

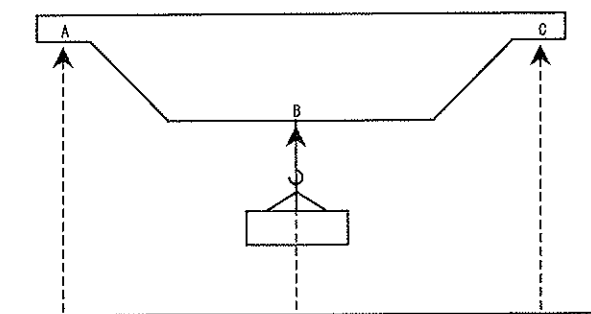


図. 3-2-5-5 天井クレーンの撓み測定

クレーンガーダ及びサドルの点検

ガーダの撓みは定格荷重を吊った状態での、3 点（両支点、ガーダ支間中央）の撓みを測定し、その値からガーダの撓みを算出する。図. 3-2-5-5 に撓み測定位置を示す。撓みの許容値は、ガーダスパンの 1/800 である。撓みの測定方法としては、レベル測量、ピアノ線、下げ振り等があるが、近年ではレーザーを用いた測定が一般的となってきた。

溶接部の疲労き裂の有無は、目視により調べている。目視で判断できない場合には、カラーチェックで判定する。その他、ボルトの緩みは叩いて点検し、腐食については目視で点検している。き裂の有無、ボルトの緩みなどは、先にも述べたように、点検できない箇所が存在するため、できる範囲で行っているのが現状である。

横行レール

レールについては、き裂、変形、磨耗の有無について点検する。き裂の有無は目視、変形、磨耗については、ノギス、スケールで測定する。レールの変形とは、主に、レールの湾曲であり、これは、レール両端部にピアノ線を張って測定している。

【参考文献】

- 3-2-26) 電子政府の総合窓口の HP, <http://www.e-gov.go.jp/index.html>
- 3-2-27) 天井クレーンの定期自主検査指針・同解説（改訂版），2005.4，社団法人日本クレーン協会
- 3-2-28) ホイスト式クレーンの定期自主検査実施要領，2005.4，社団法人日本クレーン協会
- 3-2-29) クレーン，第 41，巻 8 号，2003，社団法人日本クレーン協会

3-2-6. クレーン

本節では、『国内におけるクレーンの維持管理要領』と『モニタリング技術を導入したクレーン遠隔監視システム』の2つのテーマに関して紹介する。

a) 国内におけるクレーンの維持管理要領

(1) クレーンの法的検査

クレーンは定期的に点検・検査することが法律で義務づけられており、『クレーン等安全規則（昭和四七・九・三〇 労働省令第三四号）』に従って実施する必要がある。クレーン等安全規制に記載されている主な内容は下表のとおりである。

表. 3-2-6-1 クレーン等安全規則

点検・検査の種類	頻度	内容
作業開始前の点検	毎日	・巻過防止装置、ブレーキ、操作装置の異常の有無
月例点検	1ヶ月に1回	・巻過防止装置およびその他の安全装置、過負荷防止装置の異常の有無、ブレーキの異常の有無 ・ワイヤロープおよびフックなどのつり具の損傷の有無 ・配線、集電装置、配電盤、開閉器および操作装置の異常の有無
定期自主検査	1年に1回	・荷重試験
性能検査	2年に1回	・各部分の構造および機能点検、荷重試験

注) ① 瞬間風速が 30m/sec を超える風が吹いた後および震度 4 以上の地震発生後に、クレーン作業を実施する時は、クレーン各部の異常の有無について点検することが義務づけられている。

② 「1年以内ごとに1回、定期的に行う自主検査」を特定自主検査と呼び、合格した証拠として、検査標章(下図参照)をクレーンに貼り付けなければならない。なお、特定自主検査は労働省で定める資格を有する者が実施しなければならない。

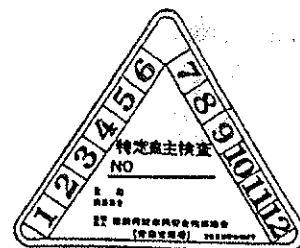


図. 3-2-6-1 検査標章

(2) 点検³⁻²⁻³⁰⁾

法的検査以外に機械全般に関して最良の状態与安全に使用するため、下表の点検・整備を実施する必要がある。

表. 3-2-6-2 クレーン点検内容

点検間隔	符号	点検箇所	点検項目	点検要領
毎日または8時間ごと	1	油圧系ホース	損傷	目視
	2	電動機	始動具合・漏れ・異音	始動・聴診
	3	ホース・配管・継手類	油漏れ	目視
	4	旋回ブレーキ	きき具合	操作
	5	旋回ロック	作動	操作
	6	操作レバー	遊び・変形	操作・目視
	7	ガントリ	変形・クラック	目視
	8	ホーン・前照灯・ワイパー	作動	操作
	9	ピン・リンク・コッタピン	損傷・脱落	目視
	10	ボルト・ナット	ゆるみ・脱落	目視
	11	フック過巻防止装置	作動	操作
	12	ブーム過巻防止装置	作動	操作
	13	過負荷防止装置	作動	操作
	14	ドラムロック	作動	操作
	15	窓ガラス・ステップ・取手・ガード	損傷・亀裂・脱落	目視
	16	主巻ドラムブレーキディスク	摩耗	目視
毎月または100時間ごと	17	オイルクーラ	油漏れ・損傷	目視
	18	電動機取付ボルト・ラバマウント	ゆるみ・損傷	目視・テストハンマ
	19	パワーディバイダ	油漏れ・異音	目視・聴診
	20	油圧モータ・減速機	油漏れ・異音	目視・聴診
	21	バルブ類	油漏れ	目視
	22	油圧ポンプ	油漏れ・異音	目視・聴診
	23	ドラムロック	摩耗・損傷	目視
	24	旋回警報	警報音・球切れ	操作・目視
6ヶ月または600時間ごと	25	アキュムレータ	油漏れ・損傷	目視
	26	フレーム	損傷・亀裂	目視
	27	電動機絶縁	絶縁低下	計測

注) 次頁の図に符号数字の点検箇所を示す。

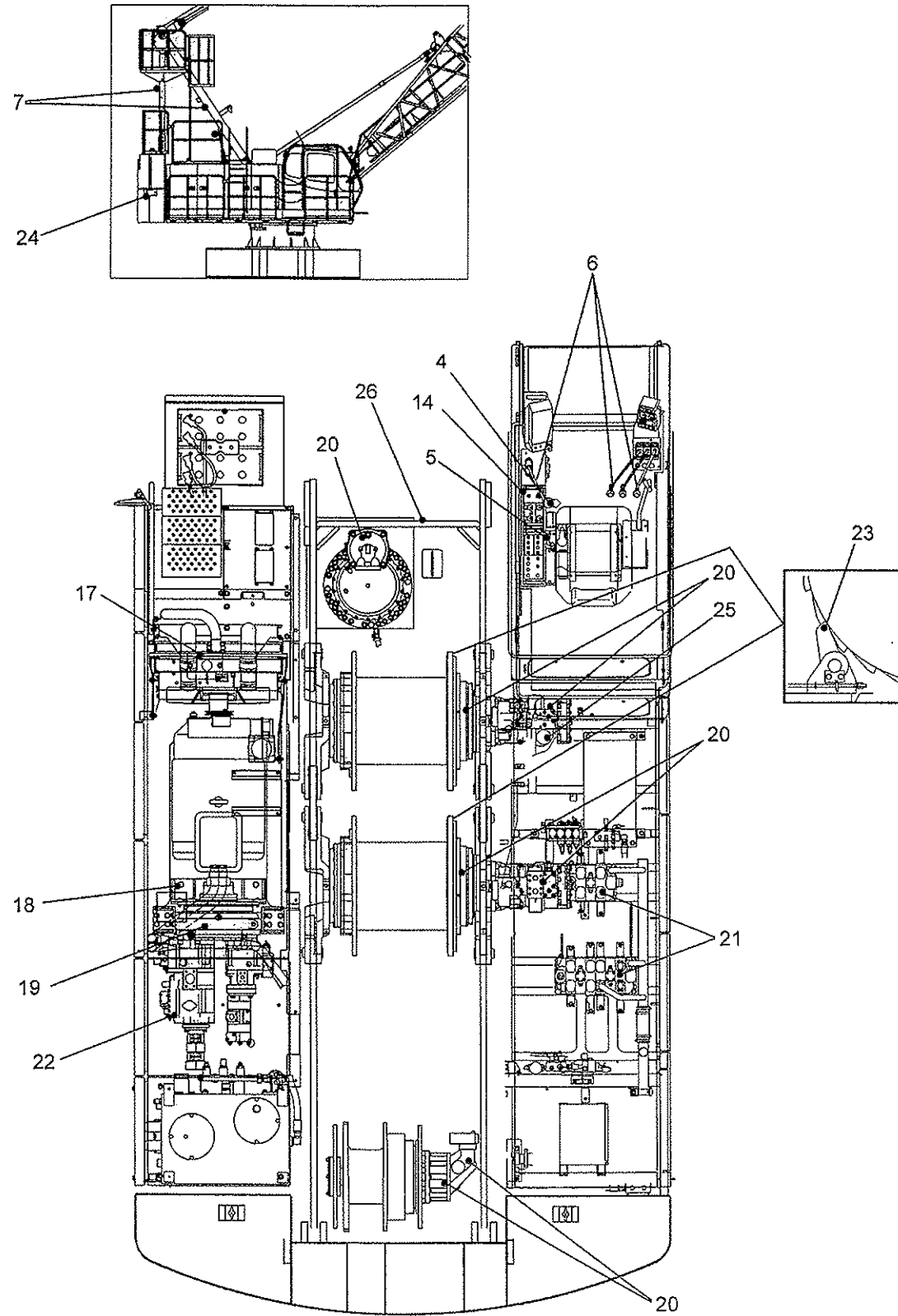


図. 3-2-6-2 点検箇所

(3) クレーン操作時の事故

クレーン操作時の事故は、ほとんどが吊荷の落下に伴う災害である。その事故原因は人為的ミスによるものであり、クレーン本体の損傷（人為的な操作ミスによるものは除く）やクレーン装置の故障による事故例はあまり耳にしないのが現状である。主な人為的ミスは以下の通りである。

- ① 吊荷の縛り方が悪く、ワイヤー等から吊荷が落下。
- ② 玉掛け作業が悪く、フックから外れ、吊荷が落下。
- ③ ワイヤーロープの劣化により、ロープが切断し、吊荷が落下。
- ④ クレーン操作ミスにより、吊荷に挟まれる。
- ⑤ クレーン操作ミスにより、クレーンが転倒、接触。

上記人為的ミスにおいて、⑤項のクレーンの転倒は重大事故になる危険性がある。そこで、クレーンには転倒を未然に防止するための過負荷防止装置が装着されている。この過負荷防止装置には様々なセンサーから構成されており、詳細については次節で紹介する。

(4) 過負荷防止装置³⁻²⁻³⁰⁾

過負荷防止装置の系統図を図. 3-2-6-3、機器配置図およびコントローラ表示画面を図. 3-2-6-4 に示す。主な使用センサー類は、荷重検出器・ブーム角度検出器・フック過巻リミットスイッチ・ブーム過巻リミットスイッチの4つである。各センサーで検出された信号は、配線によりオペレータ席にあるコントローラでモニタリングできるようになっており、負荷率が90%以上およびフック・ブームが過巻状態になると警報ブザーが鳴る。また、負荷等のデータはメモリカードにより記録され、事故等が発生した場合に記録データから原因を分析できるようになっている。

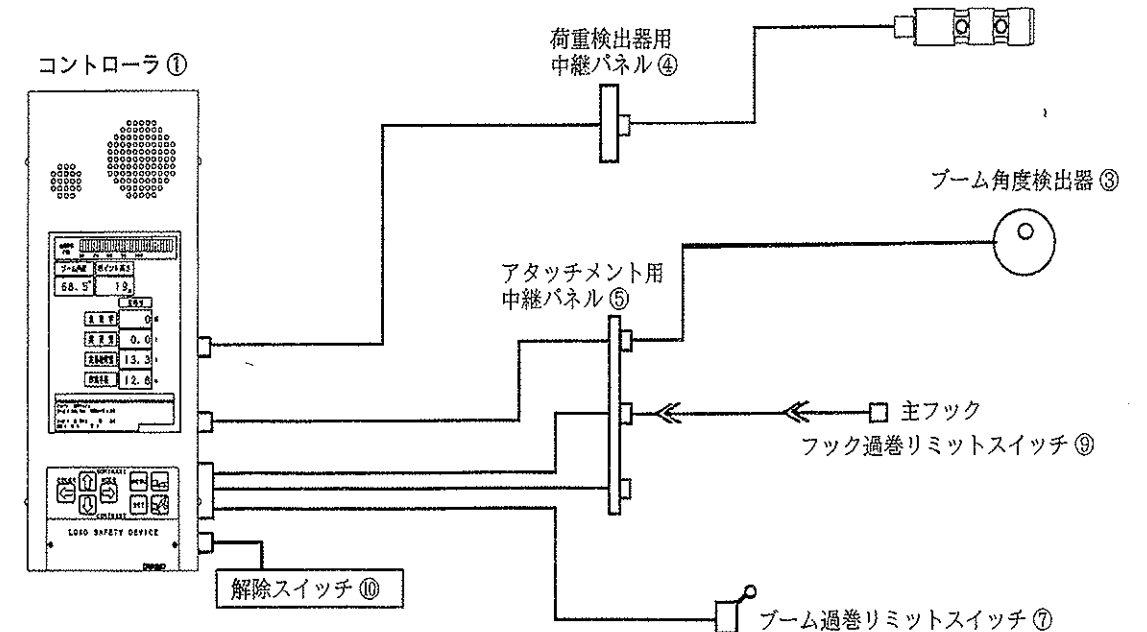
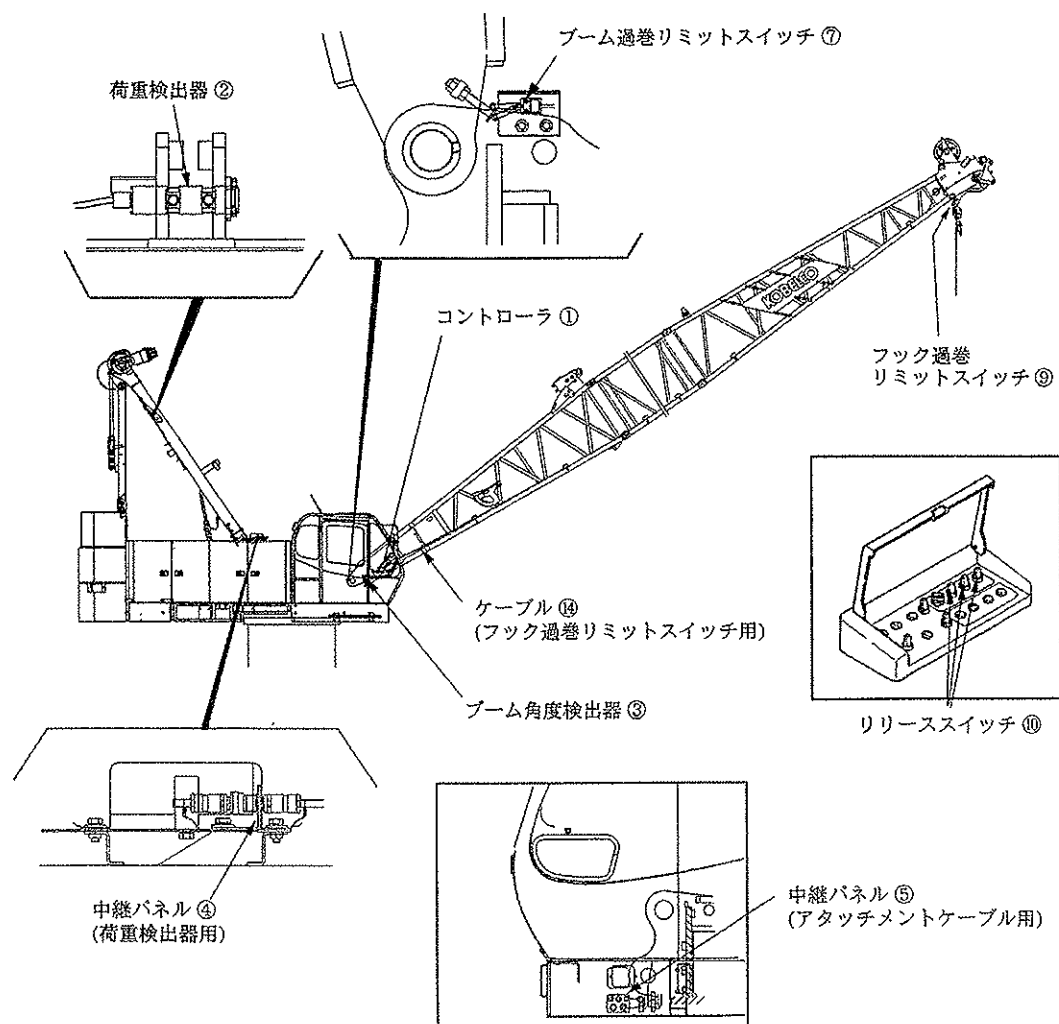
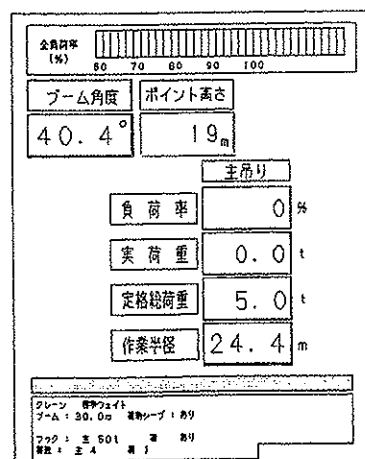


図. 3-2-6-3 過負荷防止装置の系統図



a) 機器配置図



b) コントローラ画面

図.3-2-6-4 機器配置図とコントローラ画面

b) モニタリング技術を導入したクレーン遠隔監視システム³⁻²⁻³¹⁾

(1) クレーン遠隔監視システム

クレーン遠隔監視システム概念図を図.3-2-6-5に示す。システムの主な概要は以下のとおりである。

- ① 操作状況、位置、メンテナンス記録等がインターネットを通じて、いつでも、どこでも閲覧することができる。
- ② ①のデータを顧客・ディーラ・サービスエンジニアが共有できる。
- ③ インターネットが無くても、現在操作中の最新データが携帯電話で閲覧することができる。

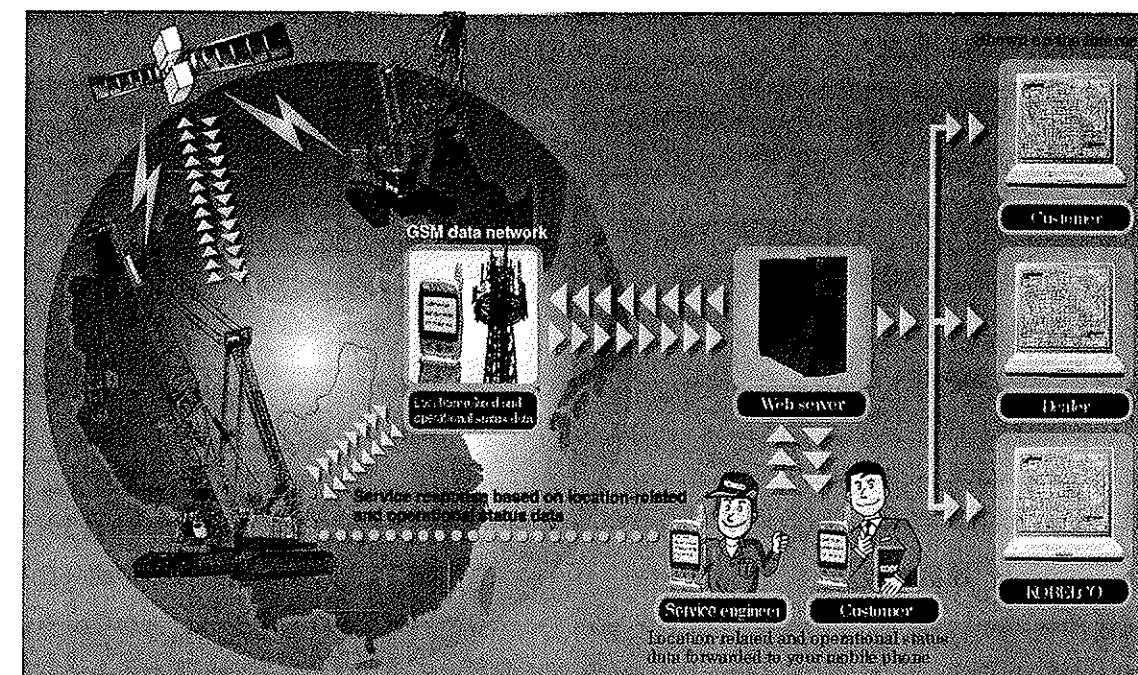


図.3-2-6-5 クレーン遠隔監視システム概念図

(2) システムの導入背景

① 中国ビジネスにおける販売代金の回収

中国では経済成長が続き、クレーン等の建設機械は市場拡大傾向にある。このような状況の中、国内各クレーンメーカーは中国向けにクレーンの販売を続けてきたが、代金回収が滞るといった問題が発生した。確かに、クレーンは1台あたり数千万円～2億円程度で中国ではたいへん高価なものであり、割賦販売を導入するなどの対策を打ったが、ローンの焦げつきが多発した。

上述の背景のもと、代金回収策としてITを駆使した機械稼働管理システムがクレーンに導入されることになった。

② 効率の良いメンテナンス支援

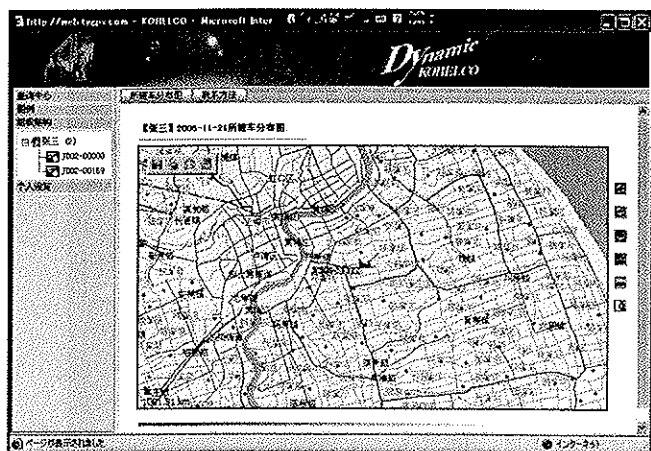
特に海外では、サービスマンの要員不足により、日々ユーザー訪問することはできない。そこで、遠隔でクレーンの稼働頻度・操作状況等を把握することによって、的確な時期にサービスメンテナンスを効率良く推進することができる。

③ 転倒などの重大事故が起きた原因追求

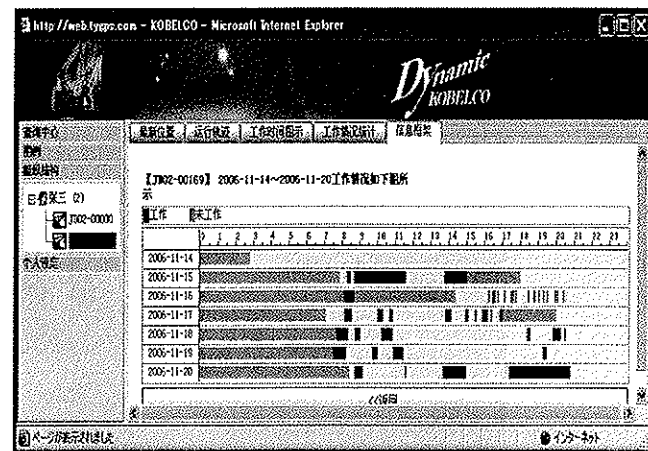
操作経歴を常時記録することにより、事故発生時の操作状況（最大荷重、作業半径等）を素早く確認できる。

(3) モニタリング情報（例）

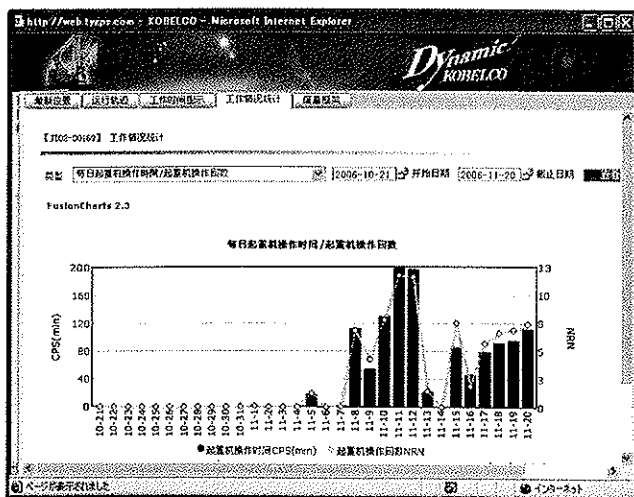
代表例として、下図に示すクレーンの位置・稼働状況等が遠く離れた場所で確認でき、かつデータが記録できる。



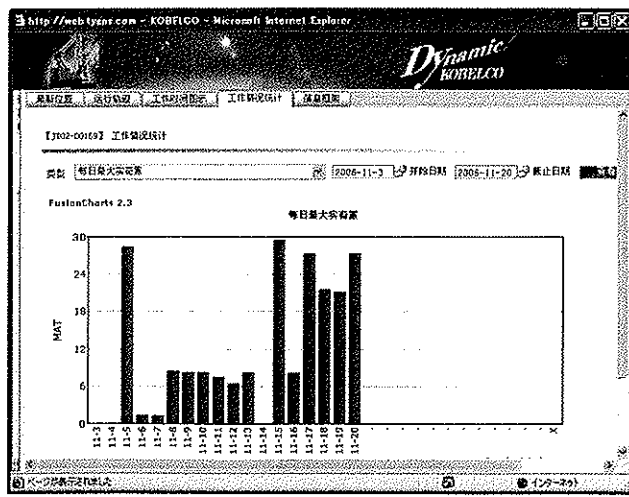
a) 位置情報



b) エンジン稼働時間（日々）



c) 揚程作業時間と作業回数（日々）



d) 最大荷重（日々）

図. 3-2-6-6 情報例

(4) 遠隔監視システムのメリット

立場別に目的も異なり、メリットも違う。立場別に主なメリットを下記に列挙する。

【現場】

操作状況等の運転管理、現場管理、安全管理

【ディーラー】

配車管理、代金回収

【サービスマン】

メンテナンス管理、消耗品の管理、仕事状況に合わせた適切な部品交換、トラブルリスクの減少

(5) 監視システムの適用実績

建設機械分野においては、ショベル機械は既に適用されており、クレーンに関しては試験段階がほぼ終了し、まもなく販売が開始される状況である。なお、クレーンへの適用が遅れた理由は、ショベル機械に比べ管理しなければならない情報量が30倍程度多く、システムが複雑になったためである。

また、トラック物流分野においても配車や運行管理等に同様なシステムが国内で導入されている。

(6) システム構築費用

監視するクレーン台数によっても若干の差異はあるが、1万台程度を監視・管理すると仮定した場合、約数億円の費用となる。内訳はハードよりもソフト関係の費用がかなり大きい。

(7) 鋼橋への適用可能性等

情報技術が著しく発達し、多くの情報量を GSM Wave (Global System for Mobile Communications: 欧州で規格が統一された携帯電話の標準規格で、世界的に最も普及しているデジタル方式の通信) で瞬時に伝達できるようになった。鋼橋あるいはその他の幅広い分野のモニタリングにおいても、対象物の知りたい情報を管理するコンピュータに通信する必要があり、この技術は適用可能であろう。但し、ソフト開発には時間もかかり、多額の費用が発生することを忘れてはいけない。

【参考文献】

3-2-30) KOBELCO クレーン株式会社：7055BP-3 油圧式クレーン取扱説明書
 3-2-31) KOBELCO クレーン株式会社：バウマ国際建設機械・資材機械・建設車両見本市 出展資料, 2006.11

3-2-7. 建築

建築におけるモニタリングは温度、湿度等の環境の制御や防犯システムなど幅広く活用されている。しかし、こと構造体に関しては、メンテナンスが必要な製品を顧客に提供するという概念がなく、構造体はメンテナンスフリーであることが大前提である。このため、現在モニタリングの対象は「地震後の構造体の診断」に限定され活用されている。

a) モニタリング技術の活用の背景

通常地震後の診断は、構造技術者が現場に派遣され、点検し、期間として1～2週間を要すると考えられている。これをシステム化することにより当日もしくは数分後に顧客に診断結果を提供するという特質により、顧客に採用してもらうためには、高いコストパフォーマンスが要求されている。また、被害調査および耐震診断を同時に行うためには、判定する構造体の設計緒元が必要不可欠であり、一般にモニタリングシステムは総合建設業会社により建築物の所有者に提供されている。

建築におけるモニタリングの便益性の一例を図. 3-2-7-1に示す。構造モニタリングは事業継続計画の一環として、耐震補強等の被害低減、早期復旧の対策と併用して用いられる。事業継続計画(Business Continuity Plan)は、災害や事故等の発生に伴って、通常の仕事活動が中断した場合、可能な限り短い期間で、事業活動上最も重要な機能を再開できるように、事前に計画・準備し、継続的メンテナンスを行うプロセスと定義されている。

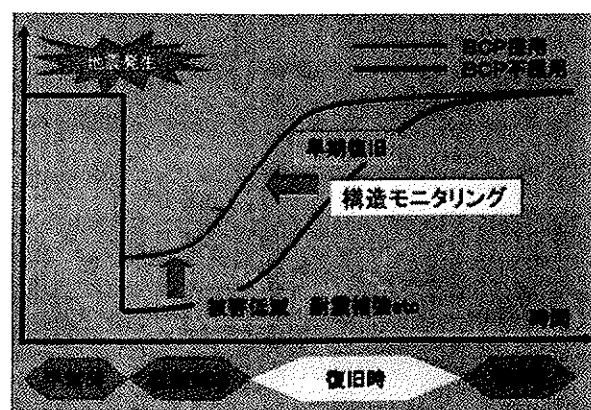


図. 3-2-7-1 モニタリングの便益性の一例

b) 構造ヘルスモニタリングの適用例

地震被災時の診断方法の例を図. 3-2-7-2に示す。診断方法は構造技術者による診断、オフラインシステムによる診断、オンラインシステムによる診断があり、本稿ではオフラインシステムによる診断、オンラインシステムによる診断に関して、ある総合建設業会社(1社)の実施例を紹介する。

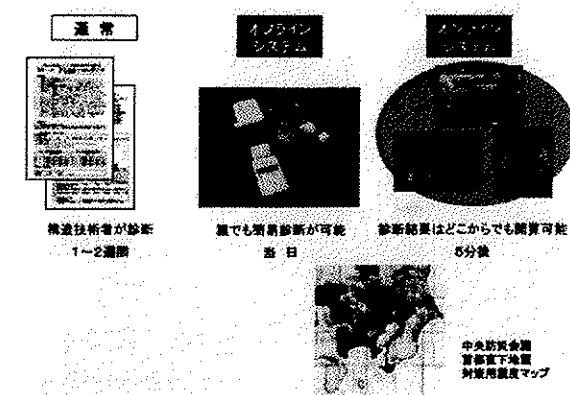


図. 3-2-6-2 地震被災時の診断方法

c) オフラインシステムの適用例

オフライン診断システムを構築するために開発された変位記憶型センサーを図. 3-2-6-3に示す。システムは①累積・最大変位記憶型センサー②計測通信装置(送信機)③接続ケーブル④非接触計測リーダーで構成されている。

①～③の累積・最大変位記憶型センサーと送信機は、構造体の診断を行う上で必要な個数設置する。④の装置は最低限1個でもシステム構成は可能である。①累積・最大変位記憶型センサーは図. 3-2-7-3に示すように地震の振動による最大変位および最小変位を記憶することが可能な変位計であり、かつ予め設定された診断の判定値を記憶できる。

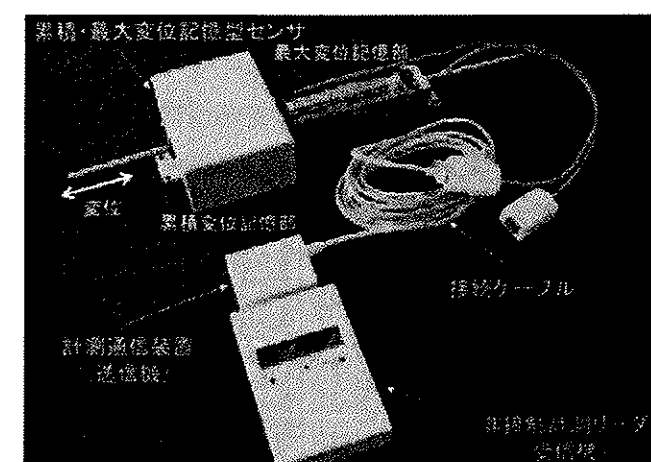


図. 3-2-7-3 変位記憶型センサーの構成

実際のモニタリング手順は、地震が発生した後に建物の管理者が非接触計測リーダを持ち、送信機の設置された場所を巡回、計測する。計測時間は1箇所当たり2秒程度であり、計測後、直ちに計測値および判定がリーダに表示される。判定は予め設定された許容変位値に基づき、緑、黄、赤の計測判定ランプにより、継続使用可（緑）、要調査（黄）危険（赤）が表示される。

このように大地震時に、構造技術者の立会いを必要とせずに、構造体の緊急一次判断として用いることが可能である。

図.3-2-7-4 に変位と変位記憶型センサーの出力例を、図.3-2-7-5 に総合建設業会社の自社の支店に設置されたモニタリングシステムの構成例を示す。この例では、オフラインシステムの他に、システムの精度を実証するため、オフラインシステム自体には必ずしも必要でない加速度センサー、地震表示器、地震記録装置などが付け加えられた構成となっている。

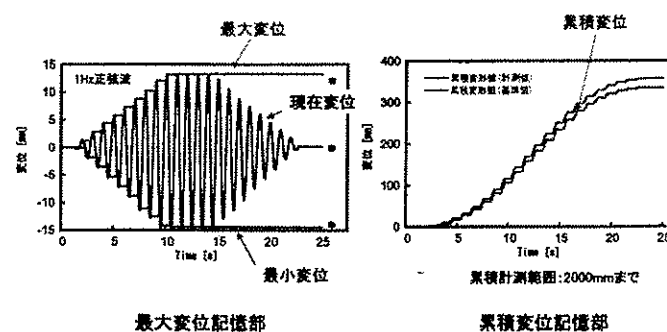


図.3-2-7-4 変位と変位記憶型センサーの出力例

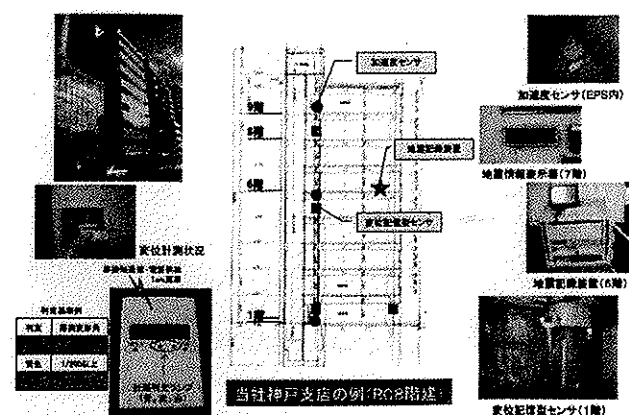


図.3-2-7-5 オフラインモニタリングシステム設置例

d) オンラインシステムの適用例

インターネットを活用したオンライン診断システム例を図.3-2-7-6 に示す。総合建設業会社の技術研究所に設置されたモニタリングサーバで現在17サイトが集中管理され、診断結果は地震後5分以内に、どこからでも閲覧可能なシステムとなっている。

サーバが設置されている技術研究所自体のモニタリングシステムを図.3-2-7-7 に示す。

構造体は6個の免震装置に支持された構造であり、観測システムは制御部を中心に加速度センサー10箇所、25点、変位センサー2点、杭損傷検知センサー2箇所の他、免震装置の地震時の映像収録1箇所構成されている。実際に発生した地震時の免震装置の変形状況例と変位計の記録状況を図.3-2-7-8 に示す。

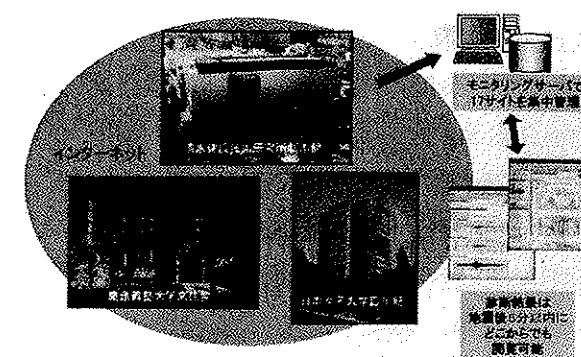


図.3-2-7-6 インターネットを活用したモニタリングシステムの例

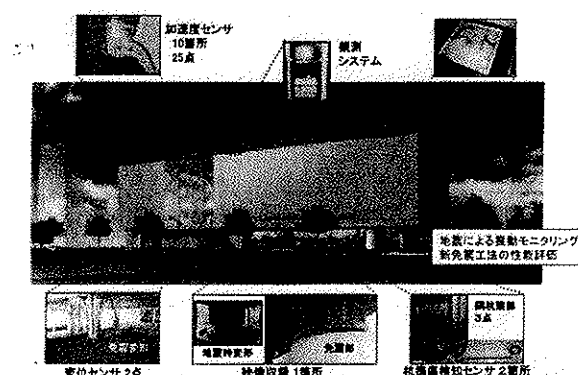


図.3-2-7-7 研究所のモニタリングシステム構成

e) 予想される今後の動向

建築分野におけるモニタリング技術は、今後、都市モニタリング構想やセンサーネットワークとして、単独の構造体の診断に留まらず大きな広がりを持ったネットワークとして使用することが考えられている。用いられる技術要素としては次のようなものが考えられる。

- センサー、信号処理、制御技術
- 対象のモデリングと解析シミュレーション
- 情報伝達技術と意思決定支援システム

近年注目されているセンサーは光ファイバセンサーであり、BOTDRセンサー、FBGセンサー、OSMOSセンサーなどが、その特徴に応じた使用方法で実績を増やしている。

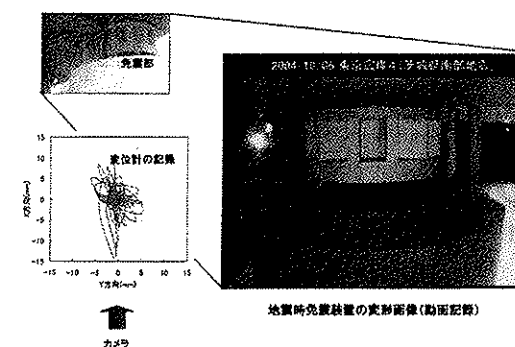


図.3-2-7-8 免震装置の地震時の動きの例

3-2-8. 圧力容器 (LNG タンク)

a) 維持管理の背景

エネルギー事情は、石油依存から液化天然ガス LNG (Liquefied Natural Gas) などの極低温資源へと転換期を迎えている。LNG はメタンを主成分とする天然ガスを精製、冷却、液化したもので、LNG 製造工程において炭酸ガス、硫化水素、水分、水銀等の不純物を取り除き、液化基地および受入基地の設備が腐食しないようにする必要がある。

地層中の天然ガスは水 (地層水) と共存しており、地層水は海水組成に類似し、NaCl を主体とする Na, Ca, Mg 塩 (塩化物、硫化物、炭酸塩など) を含んでいる。天然ガスに伴われる水溶性の腐食性成分は、炭酸ガス (CO₂) および硫化水素 (H₂S) の酸性ガス成分と塩分である。

我が国の LNG タンクは、発電所などの電力会社保有設備が 44%、ガス会社保有設備が 35%、LNG 備蓄会社保有設備が 21% を占めており、それぞれ、適用法規は電気事業法、ガス事業法、および高圧ガス保安法に基づいている。このように、関連法規も異なり、検査に対する考え方にも差異が認められる。

b) 構造的特徴

近年、LNG (-162℃) に代表されるような極低温物質の需要が増大し、これらを貯蔵する大容量タンクの建設およびメンテナンス技術が進歩してきている。LNG タンクの種類は表 3-2-8-1 に示すとおり、地上式と地下式があり、多種多様な施工実績がある。図 3-2-8-1 には地上式 LNG タンクの内槽の様子を示す。

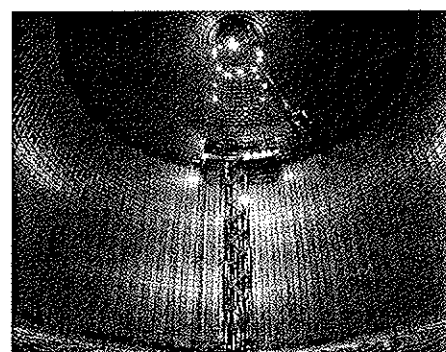


図 3-2-8-1 LNG タンクの内槽

表 3-2-8-1 LNG タンクの種類

形式	構造	
地上式	金属二重殻式	内槽材料には 9%Ni 鋼を使用し、外槽を炭素鋼とした構造
	PC 外槽式	内槽材料には 9%Ni 鋼を使用し、外槽をプレストレスコンクリート製の防液堤を一体型とした構造。
地下式	メムブレン式	コンクリート躯体内部に保冷材、ステンレス製メムブレンを内貼りした構造
	ピットイン式	金属二重殻式タンクをピット内に設置した構造

c) 検査項目

検査項目は、損傷、腐食、摩耗、浸食、変形、汚れなどの異常がないかを点検する目視検査と、耐圧部分に目視検査で減肉などが認められた場合に行う肉厚測定がある。また、耐圧部分の溶接線に目視検査で異常が確認された場合には、浸透探傷試験、超音波探傷試験、

渦流探傷試験、放射線透過試験等の非破壊検査を行い有害な欠陥がないことを確認する。鋼構造体の板厚は 10~50mm であり、通常、橋梁等で実施している非破壊検査を適用している。

リークテストは、経年変化の恐れのあるシール部と、検査のために開放した後に組立てたシール部を対象に、シール性能を確認するためのものである。これは、運転圧力以上に加圧した状態で、発泡液をシール部分に塗布し、泡が認められるかどうかで判定するか、もしくはガス検知器にて確認を行う。

LNG 受入基地設備において、LNG 気化器出口および BOG 圧縮機出口に温度計を設置し、内部の温度をモニタリングしている。また、高圧ガス設備における圧力計は、検出部、変換器部、記録計等の指示または記録を行う装置により構成されたものを用いることとし、内圧の低下など異常がないかどうかをモニタリングしている。さらに、液化ガス貯槽に設けられた液面計により、貯蔵している液面の急激な低下がないかをモニタリングしている。また、可燃性ガスの製造施設のいたるところには、ガス漏洩警報設備によりガス漏れなどがないかを検知している。

d) 操業・設備管理システム

都市ガス製造所等では、LNG タンクや製造プラント等の操業や保守に関する膨大なデータ・情報を収集・管理している。その方法としては、ケーブル等の電気配線を接続することが主流であったが、2000 年前後から、事業所用 PHS の高速データ伝送機能を活用して、さまざまな製造所内のデータ・情報をリアルタイムに収集・管理するものを適用している場合が多い。これにより、電気配線を敷設する場合に比べて工事費用を約 90% 削減できるほか、計装設備点検作業の約 50% を省力化できる等現場作業の効率化を図ることが可能となった。また、現場情報の伝達の迅速化、監視対象設備の拡大などの効果も期待できる。

これらのシステム開発には、赤外線 (IrDA 規格) を利用した通信方法を採用し、防爆対応を行っている。また、通信電波の傍受や外部者の不正なシステムへの侵入等を防止できるよう、セキュリティには十分考慮したシステムである。導入されているシステムの概要は以下のとおりである。

①計装設備点検支援システム

操業状況の各種データを計測する計装設備の精度点検作業支援するシステムである。これまで中央制御室と現場の双方で行っていた作業が、現場だけで可能となった。

②振動診断システム

ポンプなど機械設備の振動情報を収集・解析し、設備の状態管理を行うシステムである。現場に作業員が行かなくても振動情報の収集が可能である。

③ガス検知システム

製造所内の各現場等において、可燃性ガスの有無を監視するシステムである。万一ガスを検知したら警報とガス濃度値を中央制御室に表示する。

④静止画伝送システム

現場の様様をデジタルカメラで撮影し、その静止画像を中央制御室に伝送するシステムである。工事等の進捗状況の確認や万一の災害発生時などに活用することができる。

e) 光ファイバによる漏洩検知システム

近年開発された特殊なものとして、光ファイバを用いた LNG（液化天然ガス）タンクの漏洩検知システムがある。石油備蓄タンクの発熱・火災検知にも適用可能なものである。これは、図.3-2-8-2 に示すとおり、タンク周囲の環状部分に光ファイバを布設することにより、万一の LNG 漏洩時の温度低下を検出し、警報を出力する。また、タンク基礎に光ファイバを埋設すれば、正確な温度分布が測定でき、地盤の凍結防止や保温ヒータの制御に有効である。

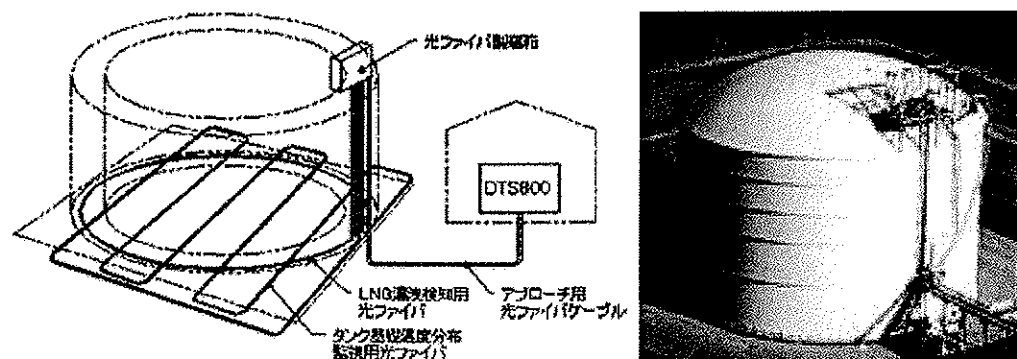


図.3-2-8-2 光ファイバによる漏洩検知システム

e) レーザ光線による漏洩検知機器

通常、都市ガスの漏洩検査は、検査箇所付近に半導体式や水素イオン化式などの都市ガス検知器を近づけてガス濃度の測定を行ってきた。したがって、天井裏や床下などの狭い場所や天井付近で、漏洩箇所を発見したり、ガスが溜まっていないか確認したりする場合、ガス検知器を近づけるのが困難なため作業時間が長くなっており、作業性、保安などの観点から、離れたところから漏洩を検知できる遠隔ガス検知器の開発が望まれていた。

都市ガスの主成分であるメタンは、ある特定の波長の光（赤外線）を吸収することが知られている。この現象を利用すればメタンを遠隔検知できる。検知器は光学部と回路部から構成され、光学部はレーザー光線の照射と受光、回路部は信号処理を行う。レーザー光源はメタンに吸収される赤外線の半導体レーザーであり、光学部から検査したい場所（標的）に向けて照射される。このレーザー光線は、ガス配管や天井、地面などの標的で散乱されるが、その一部が光学部に戻って受光されるとき、回路部でレーザー光線がどのくらい吸収されたかを計算することにより、メタンの遠隔検知を可能とする。レーザー光線を用いた漏洩検知機器の特徴は以下のとおりであり、代表的な仕様例を表.3-2-8-2 に示す。

- (1) 遠隔でガス検知が可能…1～10m 離れている場所でも、検査が簡単にできる。
- (2) 軽量・コンパクト…一人で持ち運び、操作が可能である。
- (3) 操作が簡単…検査したい場所にレーザーを照射するだけで、複雑な操作が不要。

表.3-2-8-2 レーザ光線による漏洩検知機器の仕様例

原因	仕様
検知距離	1～10m
応答時間	0.1 秒
重量	4.3kg(回路部 3.1kg, 光学部 1.2kg)
電池	ニッケル水素電池(12V, 2.8Ah)
消費電力	10W
電池寿命	約 2 時間

【参考文献】

- 3-2-32) 高圧ガス保安協会, 高圧ガス LNG 協会: 保安検査基準, 定期自主検査指針(LNG 受入基地関係), 2005.5
- 3-2-33) 高圧ガス LNG 協会: LNG 受入基地に関する検査の考え方について, 2005.1

3-3. おわりに

本章では鋼橋以外の鋼構造物を対象として、点検・モニタリング技術の実態調査を実施した。いずれの分野においても、維持管理の重要性が高まった背景には、団塊的な老朽化や、当初想定した以上の利用環境の変化が共通事実として存在しており、それぞれの鋼構造物の性能を維持・向上させるためには、点検・モニタリングを含む維持管理技術が不可欠な要素となっている。したがって、いかに他分野といえども、「鋼」を主体とした構造物に違いはなく、各分野のオリジナリティを見極めることは難しかった。そこで、本節では、全体を俯瞰して、各分野の特徴を整理するとともに、そこから見て取れた次の特徴的な2点をあげ、本章の結びとする。

3-3-1. 各分野のまとめ

本章は鋼橋以外の水土木構造物、港湾構造物、化学プラント、鉄道車両、クレーン、建築、圧力容器の点検・モニタリングの現状を可能な範囲で調査した。それぞれ調査した構造物の内容で、特徴的な部分を表3-3-1にまとめた。表3-3-1は各構造物の対象損傷・検査項目、使用環境・対象荷重、一般的に用いられる検査・点検手法をまとめたものである。次に、各構造物の中で、例えば水土木構造物ではダムゲートの様に、対象を絞りこみ特色があるモニタリング手法と思われるものを記載している。内容の詳細に関しては各章の本文を参照頂きたい。

水土木構造物中でダムゲートおよび水圧鉄管は、腐食環境下において扉の開閉が可能で水密であることが要求されている。また動・静水圧下で振動、座屈が生じないこと、応力は許容値以下であることが求められる。このため、腐食による減厚、減厚による応力超過を評価することが調査の主たる目的の一つとなっている。調査では、板厚測定や応力測定などの実測だけでなく、実測結果を基に構造解析が実施され安全性が評価されている。荷重が静水圧である場合は、実測水位と設計水位との相関が解析等により外挿できることが特徴と思われる。

港湾構造物の矢板式係船岸は海水による腐食環境下で波浪による繰返し外力を受ける。矢板式係船岸は、腐食による板厚の減少の評価が大きなポイントである。防食工として、たとえば電気防食工の一つである流電陽極方式による、維持管理が行われている。

化学プラントは取り扱う化学物質によりおのずと維持管理、検査方法が異なるものと思われる。高温、高圧、爆発の可能性のある危険な物質を取り扱う場合が多く、同様の事故が将来に発生することを防ぐため、破壊・事故の技術情報のデータベースも存在している。埋設されたパイプラインの塗覆装診断、腐食診断は掘削を必要としない診断方法が開発され、広く適用されている。

鉄道車両の点検は法律により定められ、長い歴史を有している。鉄道車両の台車は過去における疲労損傷の発生の経験より部位ごと、使用期間ごとに点検種類、点検周期が定められている。また、主要部分を取外し、または解体のうえ細部にわたって行う検査が実施さ

れている。

クレーンは使用者の自主的な点検以外に、定期的な日本クレーン協会の点検員による年次点検が義務付けられている。天井クレーンの年次点検においては定格荷重荷状態でのたわみの測定も行われている。

ブームを有するクレーンはモニタリングの一種として、一般的に過負荷防止装置が備えられている。過負荷防止装置は荷重検知器、ブーム角度検出器、過巻きリミットスイッチによる安全装置である。携帯電話やインターネットを用いたクレーン遠隔監視システムも近年増加しており、代金未払いのユーザに対してクレーン使用の禁止処置や、ユーザに対しての効率の良いメンテナンス支援に威力を発揮している。クレーンの点検においては、使用前点検に見られる様に、無負荷の状態で作動を行い、操作性を確認する点検方法が多く用いられている。

建築におけるモニタリングは、室温等の環境の制御や防犯システムなどに広く用いられている。しかし、建築構造部材はメンテナンスフリーが前提である。このため、モニタリングの対象は地震後の診断に限定され活用されている。インターネットを利用したオンラインシステムや、費用対効果の効率の良い変位記憶型センサーと非接触計測リーダを用いたオフラインなど、種々のシステムが使用され始めている。最近の薄型テレビや電子部品の工場などにおける被災時の事業継続計画の一環として、耐震装置とモニタリングを併用したシステムを顧客に提供する事例も見られる。

圧力容器の中で、低温、腐食環境にあるものは内槽材料として、9%Ni鋼やステンレス鋼が用いられている。点検は損傷、腐食などの検査以外に各種非破壊検査、肉厚測定、リークテストが行われる。LNGタンクや都市ガスタンクは内容物の圧力、容量の急激な変化が無いかのモニタリングの他、ガス漏洩警報設備による監視が行われている。内容物の漏洩による急激な温度変化を検知する光ファイバーシステムや、メタンガスの存在を検知するレーザー光線を用いた検知システムが近年使用されている。

表 3-3-1 他分野用いられている点検・モニタリング技術の特色

構造物	対象損傷、検査項目	使用環境、対象荷重	一般的な検査、点検手法	対象物	名称、規則	機能	特色あるモニタリング手法
水力土木構造物	腐食、変形、漏水、漏水、振動、応力、たわみ	振動、産屈、腐食、漏水環境、開閉力、水密性の確保	VT、超音波探傷、厚計、測定、振動解析による構造解析	ダムゲート、水圧鉄管	水位を制御した応力測定、橋厚測定、管内装水時、充水時の応力測定、橋厚測定	応力測定は通常必ずブーゲンによる計測が行われているが、効率化のため磁歪法の適用が検討されている 橋厚測定は通常垂直探傷器を用いたパルス反射法が用いられているが、効率化のためガイド波、自動橋厚測定ロボットを用いた手法が検討されている	
港湾構造物	移動、たわみ、たわみ、腐食、沈下	水中、地中、波浪による繰返し外力	VT、計測器、肉厚測定	矢板式係船岸、消波ブロック	流電極方式における防食効果の確認 消波ブロック統合管理システム	目視検査、電位測定、陽極調査、テストピースによる防食効果の確認、環境調査 ICタグと二次元コードを一体化した管理タグとデータベースを組み合わせた管理システム	
化学プラント	一般、毒物漏洩、腐食、異常現象 ガス導管、溶接部、送配管、腐食、配管診断、沈下・応力、損傷等	高温、高圧、間欠運転、危険な物質	VT、PT、UT、ET、RT他種々	パイプライン	塗覆診断 腐食診断 梁管診断	既設配管の塗覆装の損傷を非破壊で検出可能な探査装置 既設配管の腐食を非破壊で検出可能な探査装置 橋梁などに添設された梁管の自定式検査装置 既設建築物の有無の確認	磁界法 - 地上から交流電流を流し漏洩電流による磁場の乱れを検出 電位法 - 印刷信号として交流電流を使用し、地表面における検出信号に相関処理を行い判断する 管内検査ピグ、レーザーアスゲージ、X線、カイパ波を用いた方法
鉄道車両	疲労き裂	繰返し荷重	分解、VT、MT、PT、UT	台車	運送物検査 橋務付けられた交番検査、台車検査、全般検査	部位により定められた分解しての検査がある	
天井 クレーン クレーン	損傷、疲労き裂、摩耗、電機不具合、腐食	繰返し荷重	VT、PT たわみ検査 たわみ測定	天井 クレーン	定格荷重荷状態でのたわみの測定(義務付けられた年次点検)	レベル測定、ピグ、下げ振り 近年はレーザー測定が一般的	
建築	損傷、変形	地震時損傷	VT、聴診 構造技術者による総合判定	クレーン 建築 構造部材	通風荷防止装置 クレーン遠隔監視システム オフラインモニタリングシステム	荷重検出器、ブーム角度検出器、過巻しアウトスイッチによる安全装置 携帯電話、インターネットを通して情報の入手、操作指示ができる 変位記憶型センサーと非接触計測レーザーを用いた緊急一裁判断システム	操作状況等の管理、記録 累積最大変位
圧力容器	損傷、腐食、摩耗、浸食、変形、汚れ	低温、腐食環境	VT、PT、UT、ET、RT	LNGタンク 都市ガス タンク等	LNG漏洩検知システム 漏洩メタンガスの検知	LNG漏洩時の温度低下を検出 メタンは特定の波長の光を吸収し、吸収量を計測	

3-3-2. 点検・モニタリング技術の新しい切り口

時間から状態を重視した維持管理へ

一定の点検間隔で、鋼構造物を点検・検査を行う、「時間」重視の点検が一般的である。しかしながら、それでもある程度の劣化や損傷を防ぐことが困難であること、コスト削減が掲げられる中で点検に効率性（過剰点検の防止、一斉点検による供用停止期間の最小化）が求められていることを背景に、構造物の状態を評価した上で、その状態に応じて検査間隔を決定する「状態」重視の保全計画を採用している、あるいは検討している分野がある。状態重視型保全の導入により、実際に劣化・損傷の低減やコスト削減の効果をあげている分野もあることから、今後はこの傾向が一層強くなるものと思われる。しかし、状態重視型保全への移行を行うためには、文字どおり「状態」を把握する必要があり、モニタリング等の定量的診断技術の確立が切望されることとなろう。ただし、鋼橋を含め、社会資本や産業資本に属する大型鋼構造物は、損傷や事故発生時の社会的影響が極めて大きいため、診断技術の実績は実用化を図る上で重要なファクターである。この点を勘案しながら、いかに新規の点検・モニタリング技術を開発し、実用化していくかが大きな課題である。

モニタリング技術導入のインセンティブ

モニタリング技術の役割としては、①構造性能を診断する断続的なモニタリング技術と、②日々の変化を捉える常時モニタリング技術に大別できるが、ここでは特に後者に着目する。後者のモニタリング技術が比較的普及している分野の特徴としては、2つ考えられる。1つは技術導入のコストパフォーマンスに優れた分野であることである。特にハードウェア面のコストパフォーマンスに着目するならば、鋼橋では継続的に安定した電源を確保することが難しい点、屋外での使用が前提となるためにノイズ混入や誤作動の発生率が高くなる点、さらに風雨に晒される過酷な環境下でシステムの耐久性が必然的に低下する点などから、他分野に対して劣ることは否めない。いま1つは、構造安定性の観点からは重要性が低い部材であってもその損傷が重大事故に発展するような部材を多数抱える分野、さらにこれらの部材の損傷発生から重大事故へつながるタイムラグが短い分野ではモニタリング技術の導入に対するインセンティブが大きい。例えば、プラントの配管設備等のように、常時化学物質と接触する部材などはこれに該当する。そもそも常時監視は人間には不向きであることに加え、これらの分野では技術者不足が深刻な共通課題となっている。また、対象部材の数が膨大であること、それらへのアクセスが困難であること、目視では損傷状態が確認できないことがセンサーによる常時モニタリング技術を導入するインセンティブとなっていることは間違いない。したがって、技術者とモニタリング技術の適材適所な配置を目指すような総合的な視点からの技術開発が不可欠であり、そのような視点から開発されたモニタリング技術は実用化の可能性は鋼橋分野においても極めて高いといえる。