

港湾・空港施設の健全性評価のための点検・調査技術

運輸省港湾技術研究所 正会員 岩波 光保

1. はじめに

我が国は、四方を海で囲まれており、また内陸部は急峻な山岳地帯となっているため、古くから人・モノの移動は海運および水運に大きなウェイトが置かれてきた。したがって、我が国にとって、「みなと」は人々の生活や産業を支える極めて重要な社会資本として、現在まで引き継がれてきている。現代の我が国は、各種工業製品の原材料、エネルギー資源、食料資源の多くを諸外国からの輸入に依存しており、また各種工業製品は諸外国に輸出され、我が国の経済発展の基礎を築いている。このような諸外国との貿易も全国各地の港湾を通じて行われており、実に輸出入物資の99.8%が港湾を経由している。このように、我が国において港湾が果たしている役割は極めて大きく、安定した国民生活および社会経済活動を営む上で欠かすことのできない重要な社会基盤施設である。また今日では、世界全体で社会のグローバル化が急速に進行しており、スピーディな人・モノ・情報の移動が求められている。こうした中、世界的規模で航空需要が急速に増大しており、空港整備が各地で精力的に進められている。

このように、港湾および空港は、我が国の国民生活および社会経済活動の安定的な発展を目指す上で極めて重要な社会基盤施設であり、その重要性は今後ますます高まっていくものと推測される。港湾および空港には、多くの土木構造物が建造され、供用されているが、これらが置かれている環境は極めて苛酷なものであり、的確なメンテナンスを必要とする構造物が多く存在する。例えば、港湾構造物には、波による繰返し荷重が常に作用するだけでなく、船舶の衝突や砕波による衝撃荷重が加わることもあり、極めて苛酷な荷重条件下にあると言える。さらに、海水中の塩化物イオンに起因する鋼材腐食の問題が、鋼構造物およびRC・PC構造物に顕在化するなど、構造物の劣化速度も他の構造物と比較して著しく速いのも特徴である。また空港土木施設のうち空港舗装には、航空機の巨大な輪荷重が常に作用しており、滑走路部分においては航空機の離発着にともなう衝撃荷重が繰返し作用している。

苛酷な環境下にある港湾・空港施設の安全性を確保し、円滑な荷役および交通を保証するには、的確なメンテナンスが必要であることは言うまでもない。劣化や変状が顕在化した構造物に対して適切な対策を施すためには、その劣化や変状の状態を正確に把握し、これらによって構造物の性能がいかに低下するのかを評価（健全性評価）する必要がある。この健全性評価を精度良く行うためには、適切な点検・調査によって構造物の劣化や変状を的確に捉えることが重要であるが、港湾・空港施設においては、空間的・時間的制約から構造物の点検・調査が必ずしも容易ではない。

そこで本稿では、港湾・空港施設の健全性評価のための点検・調査技術を対象として、その現状と問題点、ならびに今後開発が期待される技術について述べることとする。紙面の都合上、港湾施設として栈橋式係船岸を、空港施設として空港舗装を代表例としてとりあげることとする。

2. 港湾施設における点検・調査技術の現状と課題（栈橋式係船岸を対象として）

栈橋式係船岸は、海底基盤面に打ち込まれた鋼管杭の下部工に、上部工としてRC梁およびRC床版を固定した形式の係船岸である。建設地点の地盤条件が悪い場合、また我が国のように地震が多発し構造物に高

キーワード：港湾、空港、点検・調査、目視調査、非破壊調査

連絡先：〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 TEL：0468-44-5031 Email：iwanami@cc.phri.go.jp

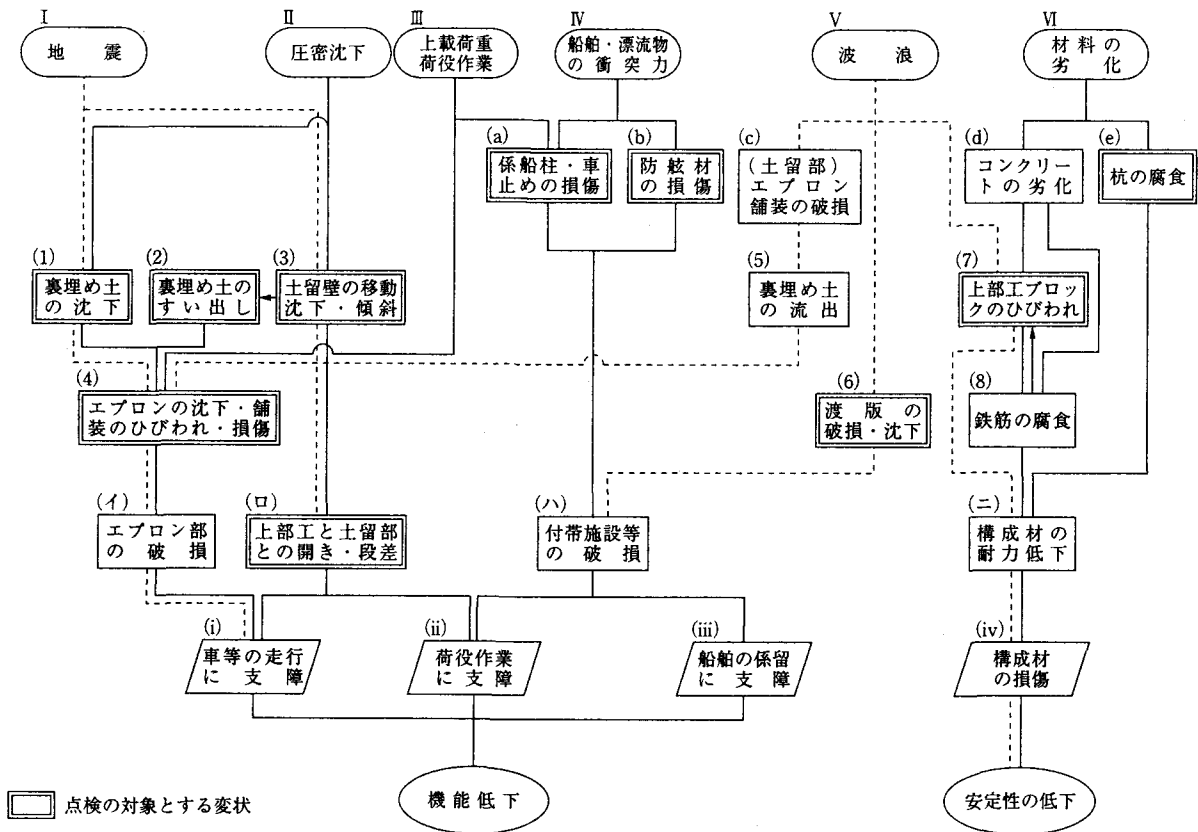


図-1 栈橋式係船岸における変状連鎖図

い耐震性が求められる場合には、合理的な構造形式となるため、我が国の港湾における係留施設に比較的多く用いられている。しかしながら、本形式の場合、干満帯および飛沫帯付近の鋼管杭に顕著な腐食が生じ、かつ上部工のRC部材においても海水の飛沫作用により内部鉄筋の腐食が発生しやすいという耐久性上の欠点が存在する。ここでは、栈橋式係船岸の健全性評価を行う上で必要な劣化や変状に関する情報を収集するための点検・調査技術について概説する。

2.1 栈橋式係船岸の点検・調査の現状¹⁾

(1) 栈橋式係船岸の変状

図-1に、栈橋式係船岸において認められる変状について、その原因および機能・安定性低下への影響から整理した変状連鎖図を示す。これによれば、変状を生じさせる原因は、①経年的に進行するもの、②地震等の突発的な災害により発生するもの、③両者の中間的なものに区分することができる。これにともなって、それぞれの点検項目に対する点検頻度も、①定期的に行う、②災害等の後に臨時に行うものと分けられる。

主な点検項目は、表-1に示すとおりである。このように、極めて多くの項目について点検を行う必要がある。このうち、干満帯にある点検項目については干潮時にしか点検を行えないほか、海中部分にある点検項目については潜水作業が必要となるため日常点検では評価することができない。特に、防波堤やケーソン式岸壁の場合、海中部分の点検項目が多いことが特徴である。しかしながら、これらの点検項目のうち、多くものは目視により点検可能なものが多く、評価・判定が容易なものもある。本形式の構造物の点検・調査で問題となるのは、構造物自体の安全性にも関わる下部工鋼管杭の腐食、ならびに上部工RC部材の劣化である。これらは、目視による点検のみでは的確な健全性評価を行えないほか、劣化や変状が部材内部で進行するため、目視可能な劣化や変状が顕在化してからでは十分な対策が行えない可能性もある。

表-1 棧橋式係船岸の点検項目

点検の対象変状	位置	点検項目
裏埋め土の沈下、吸出し	裏込め土	沈下、吸出し
エプロンの沈下、損傷	エプロン	沈下、表面凹凸、表面勾配、ひび割れ
附帯施設の損傷	防舷材、車止め、係船柱	損傷状況
杭の腐食	杭	腐食状況、杭肉厚
上部工のひび割れ	上部工	ひび割れ状況（剥離、損傷）
渡版の破損、沈下	渡版	沈下、移動、損傷状況
舗装のひび割れ、損傷	舗装	ひび割れ状況、損傷状況

(2) 下部工鋼管杭の点検・調査

下部工鋼管杭の点検・調査においては、防食工の効果および鋼材の腐食性状が対象となる。詳細については、文献²⁾を参照されたい。

(3) 上部工RC部材の点検・調査

棧橋上部工のRC部材は、海水の飛沫による塩害劣化を受けやすい環境にある。本部材に対しては、図-2に示されるような維持・補修のフローが示されており、点検・調査の良否がフロー全体の良否を決定する構造となっている。

a) 日常点検・定期点検

日常点検としての巡回以外の定期的な点検の頻度としては、おおよそ2年に1回とされており、点検方法は目視調査が中心である。このような目視による点検結果から、表-2に示す劣化度判定表に基づいて、各部材ごとの劣化度が判定される。図-2に示すような対策が施されることとなる。

棧橋上部工の劣化や変状を目視にて点検するためには、作業員がボート等の小型の船舶で棧橋下に入り、点検が確実にできるだけの照度を確保した上で、干潮時に重点的に作業を行う必要がある。当然のことながら、荒天時等の気象・海象条件が悪いときには作業できない。このように、棧橋上部工の点検は、空間的・時間的に制約が多い中で、実施される。

b) 詳細調査

定期点検により得られた構造物の劣化や変状の情報のみでは、対策工の種類、施工箇所および時期を決定することは困難である。そこで、劣化や変状の原因や程度を評価するための詳細調査が行われる。調査項目としては、①コンクリートのひび割れ深さおよび進行状況、②鉄筋の腐食性状の把握、腐食速度の推定、③鉄筋位

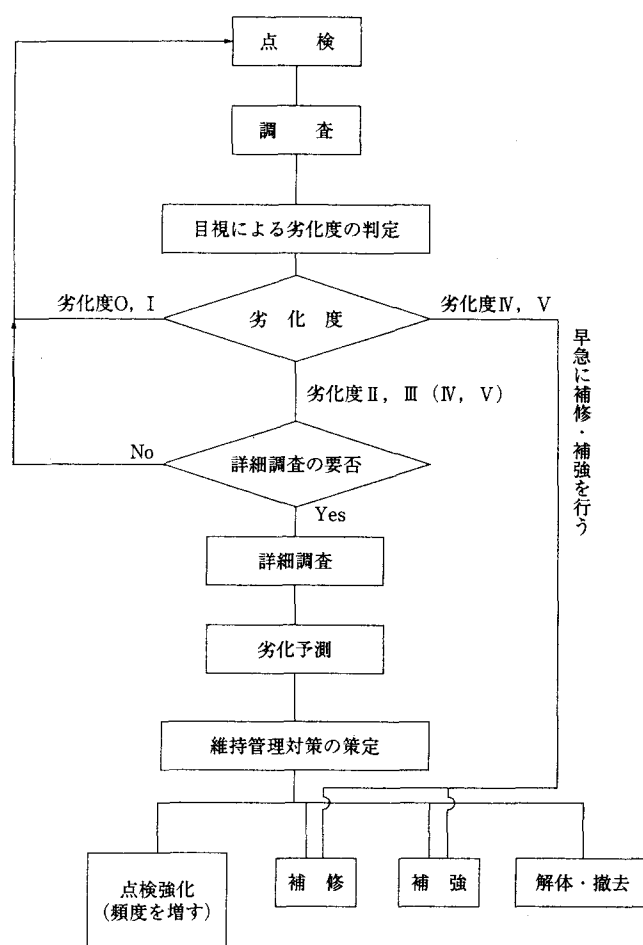


図-2 維持・補修のフロー

表-2 劣化度判定の標準

劣化度項目	0	I	II	III	IV	V
鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆がみられる	一部に錆汁がみられる。	錆汁多し	浮きさび多し	浮きさび著しい
ひび割れ	なし	一部にひび割れがみられる	ひび割れやや多し	ひび割れ多し (ひび割れ幅数mm以上のひび割れ含む)	ひび割れ幅数mm以上のひび割れ多し	
かぶりコンクリートの剥離・剥落	なし	なし	一部に浮きがみられる	一部に剥離・剥落がみられる	剥離・剥落多し	剥離・剥落が著しい

点検による調査要否の判定	調査の必要なし (点検継続)	必要に応じて調査	要補修

置、かぶり厚、配筋状態、④コンクリートの強度および弾性係数、⑤コンクリートの塩化物含有量・中性化深さ、⑥コンクリートの内部欠陥、⑦自然環境条件などがあるが、調査の目的に応じて適当な項目を選択する。その場合、a)でも述べたように、調査作業が空間的、時間的制約を受けることを十分に考慮して、用いる手法を選択しなければならない。

これらの調査に関して、精度が高く、信頼性の高いデータを得るためには、局部破壊をとまなう調査技術を用いることが望ましい。代表的なものには、削孔、コア採取、はつりなどがある。しかしながら、これらの手法ではサンプル数が限られるだけでなく、破壊箇所の補修が必要であるなど、デメリットも多い。そこで、このような問題点を解決する上では、適切な非破壊調査技術を適用することが考えられる。現在、主に実験室レベルで研究・開発が進み、その有効性が示されているが、現状の技術レベルを考慮した上で、調査結果に過度な期待をすることなく、得られた結果を中立な立場で客観的に分析することが肝要である。また、単一の手法による調査結果から評価を下すのではなく、複数の手法による調査結果から総合的に劣化や変状についての評価を下すことも念頭に置くべきである。

2.2 港湾コンクリート構造物における点検・調査の課題

栈橋式係船岸の上部工の劣化で最も問題となるのが、内部鉄筋の腐食であることは言うまでもない。内部鉄筋の腐食により、コンクリートに縦ひび割れが発生することは、劣化速度を急速に増大させるため、耐久性能が著しく損なわれるだけでなく、耐荷性能にも影響を及ぼすことがある。現状では、内部鉄筋の腐食程度は基本的に目視点検により判定することとなっている。部材内部で進行する鉄筋腐食が外観の目視観察で検出されるようになってからは、適切な対策を講じるには手遅れであることもある。したがって、外観の目視観察では評価できない内部鉄筋の腐食を非破壊的に推定する効率的な手法の開発が望まれる。現在、内部鉄筋の腐食程度を定量的に推定可能な手法として分

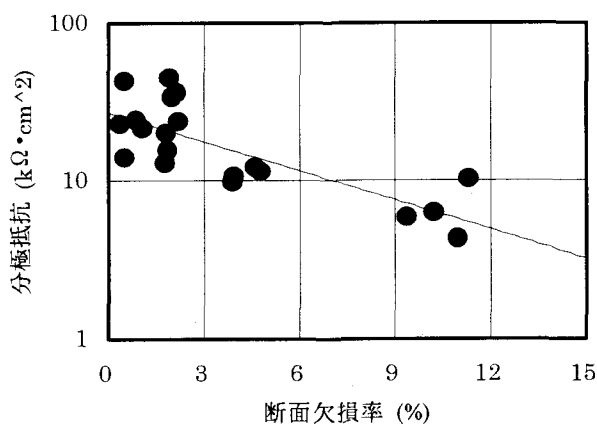


図-4 鉄筋断面欠損率と分極抵抗の関係

極抵抗測定が検討されている。図-4に、分極抵抗と鉄筋断面欠損率の関係の1例を示す³⁾。このように、両者には良い相関関係があり、今後データを蓄積していくことで内部鉄筋の腐食程度を定量的に評価できるようになると考えられる。このような検討を今後さらに進めることにより、表-2に示した劣化度判定表をより定量的かつ客観的なものへ修正していく必要がある。

また、構造物に発生した劣化や変状を個別の調査結果をもとに構造物全体としての健全性を評価するのではなく、構造体全体としての劣化を調査対象とすることも構造物の健全性評価の精度を向上させる1つの手段である。例えば、鉄筋やコンクリート内部のひずみ計測⁴⁾、アコースティック・エミッション計測⁴⁾、常時微動や固有周期等の振動計測などがあげられるが、いずれも研究途上にあり、今後の成果が期待される。

コンクリート構造物に限らず、港湾施設の点検・調査は、厳しい空間的・時間的制約のもとで実施されるのが一般的である。したがって、その手法は簡便で、作業効率が良いものでなければならない。相当に優れた精度を有する調査技術でも、機材が大型であったり、作業時間が長く必要なものでは実際の点検・調査手法に採用することはできない。また、港湾施設の多くは海中に没しているものを多いため、海中でも適用可能な手法、あるいは自動化された点検・調査ロボットのようなものも開発が期待される。

3. 空港土木施設における点検・調査の現状と課題（空港舗装を対象として）

空港における滑走路、誘導路およびエプロン部の舗装は、アスファルトあるいはコンクリートからなっており、航空機の走行および離発着により絶えず繰返し荷重が作用している。また近年の航空機の大型化にとともに、空港舗装に対する荷重条件はますます厳しいものとなってきている。

3.1 空港舗装の点検・調査の現状

我が国における空港舗装管理システムは、まず路面性状等により補修の要否を判定し、続いて補修が必要なものに対して構造評価を行うことで、構造上の問題点や適切な補修方法について検討を行うことになっている⁵⁾。

(1) 路面性状評価⁶⁾

空港舗装の路面性状評価は、アスファルト舗装の場合、クラック、わだちぼれ、平坦性を、またコンクリート舗装の場合、クラック、目地部の破損、段差を点検項目として、所定のデータユニットサイズごとに得られるPRI (Pavement Rehabilitation Index) に基づいて行われている。点検方法は、目視および写真撮影であり、点検頻度はおおよそ3年である。

(2) 構造評価

空港舗装の構造評価にはたわみ測定手法が広く用いられている。たわみ測定手法としては種々のものが開発されているが⁷⁾、空港舗装に対しては、以前はダイナフレクトが用いられていたが、近年の研究成果により、アスファルト舗装、コンクリート舗装のいずれにもFWD (Falling Weight Deflectometer) が適用されるようになった。FWDは、図-5に示すように、舗装上に設置した載荷板に重錘を落下させ、その際に生じる舗装のたわみ性状から舗装の構造上の健全性を調べるものである。FWDは通常の道路舗装に対しても適用されているが、空

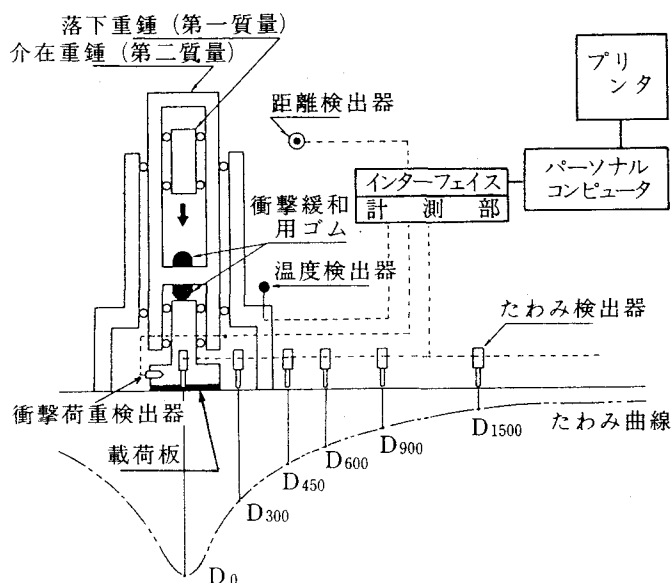


図-5 FWDの構造

港舗装に適用する場合には、航空機の輪荷重が一般の車両の輪荷重よりもはるかに大きいことを考慮して、載荷重の大きいタイプ（例えば、200kN）を用いることが望ましい。

（3）舗装版下面の空洞調査

地盤の不同沈下等によって舗装版下面に生じる空洞を調査する際にも FWD は有効であるが、空洞の大きさ、位置、あるいは分布といった詳細な情報を得るためには、超音波法やレーダ法を用いることが望ましい。超音波法によれば、空洞の正確な位置や平面的な広がりを特定することはできるものの、空間的な広がり（体積）を評価することはできない。一方、レーダ法によれば、精度は高くないが、空間的な広がりについてもある程度評価することが可能である。調査の効率という観点では、レーダ法が優れている。

3.2 空港舗装における点検・調査の課題

空港舗装の健全性を評価する際には、その構造体としての安全性や航空機の円滑な運行だけでなく、航空機内の乗客の快適性をも考慮する必要がある。これについては、快適性の評価指標が定まっていないため、どのような項目を点検・調査すればよいかは明確に示されていない。

また、航空機の離発着がない限られた時間内に、広大に広がる空港舗装を点検・調査するためには、その手法に高い効率性が必要とされる。特に定期点検で実施される路面性状評価については、点検・記録・解析が自動化されれば、そのメリットは大きい。

4. おわりに

これまで述べたように、港湾・空港施設における点検・調査システムは体系的に完成された形になっているとは言い難い。今後、港湾・空港施設の特殊性を十分に考慮して、点検・調査手法の要素技術の研究・開発を進め、構造物の健全性評価を的確に行うための点検・調査システムを構築していく必要がある。この際、調査手法の精度をむやみに向上させるのではなく、実構造物への適用を考慮した効率的で、かつ簡便な技術が求められていることは、他の土木構造物の場合でも同様であろう。

さらに、これからの時代はますます少子高齢化が進行し、公共事業予算の緊縮が一層進むことが推測されている。こうした中で、港湾・空港を含めた社会基盤施設全体を維持管理していくためには、劣化した構造物の補修・補強後における性能評価のための点検・調査技術を確立することや、施設計画の段階から劣化した構造物の更新を想定して施設を配置することなど、新しい視点に立った検討も必要である。

参考文献

- 1) 運輸省港湾技術研究所 編著：港湾構造物の維持・補修マニュアル，沿岸開発技術研究センター，1999.
- 2) 沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（改訂版），沿岸開発技術研究センター，1997.
- 3) 岩波光保，横田弘，秋本孝：内部鉄筋が腐食したRCはりの力学性能評価のための非破壊調査手法の適用性，港湾技研資料，No.978，2000.
- 4) 岩波他：曲げを受ける鉄筋コンクリートはりのAE発生特性とその劣化評価への適用性に関する基礎的検討，土木学会論文集，No.606/V-41，pp.89-102，1998.
- 5) 運輸省航空局：空港舗装補修要領（案），p.95，1984.
- 6) 運輸省航空局：空港舗装定期点検要領（案），p.2-20，1985.
- 7) 笠原篤：非破壊試験としてのたわみ測定装置とたわみデータの利用，アスファルト，Vol32，No.160，pp.57-68，1989.