生存時間解析を用いた桟橋上部工の劣化進行に影響を及ぼす要因の抽出

（国研）海上・港湾・航空技術研究所　港湾空港技術研究所　正会員　○田中　豊，川端　雄一郎，加藤　絵万

１．背景と目的

潮汐等の海象条件や部材の配置や種類等により，桟橋上部工下面の劣化進行は一様でないことが経験的に知られている．これらの要因のうち，劣化進行に与える影響が大きい要因を明らかにすることができれば，劣化進行が早い箇所を推定でき，重点的に点検すべき箇所を抽出できると考えられる．

本研究では，桟橋上部工下面の劣化進行に影響を与える要因を抽出することを目的として，19 施設の桟橋上部工下面の目視による劣化度判定結果を分析した．分析手法は，橋梁分野で適用事例[1)]のある生存時間解析[2)]を用いた．

２．劣化度判定結果の分析

２．１．分析対象および分析手法の概要

対象とした 19 施設の概要を表-1 に示す．なお，対象施設の設計資料を入手できなかったため，コンクリートの材料やかぶり厚さ等は不明である．本研究では，生存時間解析で対象とするイベントを「劣化度判定:a, Ⅲ，Ⅳ, Ⅴ」とし，カプラン・マイヤー推定法を用いて生存関数を推定した．桟橋上部工下面の劣化度判定[3)]（表-2）は塩害の進行を基準に定められていることを考慮して，劣化進行に影響を与える要因として，①施設延長方向の位置，②海陸方向の位置，③風向と施設の向き，④H.W.L.からの距離を挙げ，部材種類ごとにそれぞれの要因を一定の基準（表-3）の下にグループ分けした．そのグループごとに生存関数を推定し，グループ間の生存関数の差が統計的に有意であるか検定し，その要因が劣化進行に影響を与えるか否かを判定した．

表-1　対象施設概要

施設番号	経過年数	ブロック数	部材数		
			梁		床版(S)
			法線平行方向(BH)	法線直交方向(BV)	
1	13	11	330	275	396
2	6	5	120	165	120
3	24	10	350	320	280
4	24	8	222	220	185
5	31	10	195	98	156
6	33	9	180	180	144
7	31	11	220	220	176
8	29	15	240	222	180
9	30	13	234	260	195
10	30	13	234	260	195
11	13	11	528	462	528
12	26	16	848	624	688
13	45	11	140	120	96
14	45	10	180	180	144
15	33	13	330	330	275
16	27	11	300	300	250
17	24	10	340	338	283
18	12	11	249	300	249
19	24	17	434	456	372
総計		215	5674	5330	4912

表-2　劣化度 a の判定基準（桟橋上部工下面）

部材	劣化度の判定基準
床版	網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある
	かぶりの剥落がある
	錆汁が広範囲に発生している
梁・ハンチ	幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある
	かぶりの剥落がある
	錆汁が広範囲に発生している

２．２．分析結果

(1)　部材種類ごとの生存関数の推定

劣化度判定は梁と床版で基準が異なるため，まず部材種類ごとに生存関数を推定した．グループ分けは，BH（法線平行方向の梁），BV（法線直交方向の梁），S（床版）とした．生存関数の推定結果を図-1 に示す．検定の結果，生存関数の差が有意である（有意水準 5%）と判定されたため，部材種類ごとに劣化進行度合いが異なると考えられる．図-1 より，BH が最も生存確率が低いことがわかる．この理由として，BH は桟橋下面に侵入した波が直接的に作用する環境にあることが考えられる．一方 BV はその前面の鋼管杭により，波が直接的に当たりにくいため，BH よりも生存確率が高くなったと考えられる．また，S の生存確率が比較的低い理由として，かぶり厚さや乾湿状態等が考えられるが，それらに関する情報が不足しており，本研究では検討できなかった．

(2)　要因①～④の生存関数の推定

部材種類ごとに要因①～④についてグループを分け，生存関数を推定した．各グループ間の生存関数の差の検定結果より，BH および BV では要因②および④，S では要因②～④について，生存関数の差が有意であると判定された．しかし，要因③および④は生存曲線が途中で途切れている場合があり，結果の解釈が困難であった．図-2 に一例として，要因③の BH における生存関数の推定結果を示す．要因③および④は各部材が

キーワード　桟橋上部工，劣化度判定結果，生存時間解析
連絡先　〒239-0826　神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　港湾空港技術研究所　構造研究グループ　TEL:046-844-5059

表-3　グループ分けの基準

要因		グループ分けの基準			
		グループ1	グループ2	グループ3	備考
①	施設延長方向の位置	$0.25 \leq x_r \leq 0.75$	$x_r < 0.25,\ 0.75 < x_r$	-	x_r：施設延長に対する部材位置の比
②	海陸方向の位置	$y_r < 0.25$	$0.25 \leq y_r \leq 0.75$	$0.75 < y_r$	y_r：エプロン幅に対する部材位置の比
③	風向と施設の向き	$\lvert\theta\rvert \leq 45°$	$45° < \lvert\theta\rvert$	-	θ：最頻度風向と施設法線直交方向のなす角度
④	H.W.L.からの距離：梁	H < 0.5m	0.5m ≤ H	-	H：H.W.L.からの距離
	H.W.L.からの距離：床版	H < 1.5m	1.5m ≤ H	-	

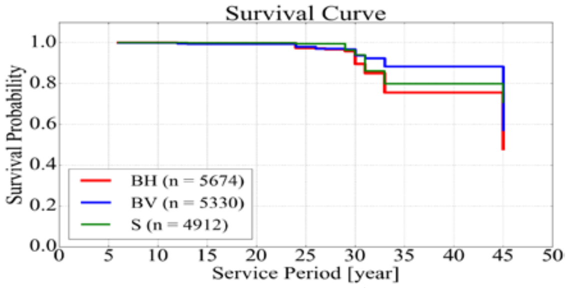

図-1　部材ごとの生存関数

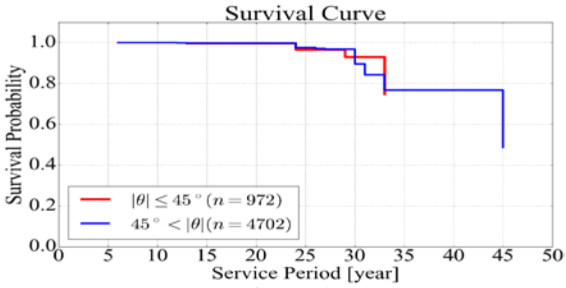

図-2　要因③の生存関数(BH)

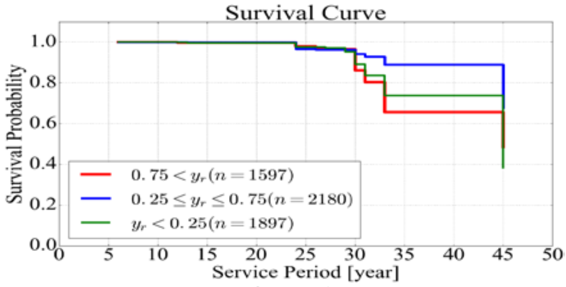

図-3　要因②の生存関数(BH)

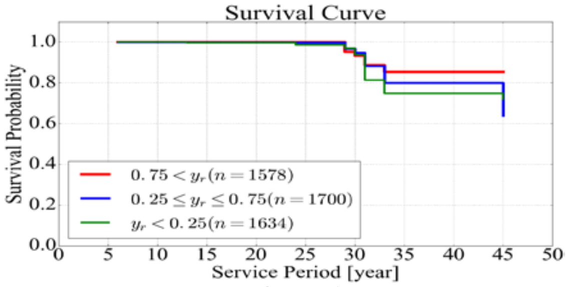

図-4　要因②の生存関数(S)

おかれている状況に関係する要因と言うよりは，各施設がおかれている状況に関係する要因であると考えられる．そのため，ある施設の部材は全て 1 つのグループに属することになり，イベントの観測が片方のグループに偏ったことで生存曲線が途切れてしまったと考えられる． そのため以下では，要因②の結果について記載する．図-2 および図-3 に BH および S における海陸方向の位置ごとの生存関数の推定結果を示す．図-3 より，BH においては海側（緑線）および陸側（赤線）の劣化進行が早く，図-4 より，S においては海側に近い順に劣化進行が早いと考えられる．海側の部材は波浪や航跡波等の影響を受けやすいため劣化進行が早いと考えられるが，BH において陸側も劣化進行が早い結果となった．その一因として，土留部による波の打ち上がりにより，BH の陸側においても部材に塩化物イオンが供給されやすいことが考えられる．

3．まとめ

本研究では，19 施設の桟橋上部工下面の目視による劣化度判定結果に対して，生存時間解析を用いて，劣化進行に影響を与える要因の抽出を試みた．その結果，本研究の範囲では，部材の海陸方向の位置が劣化進行に影響を与える要因である可能性，特に法線平行方向の梁では海側および陸側の部材，床版では海側の部材の劣化進行が早い可能性が示された．今後は施設数を増やして要因③および④が劣化進行に与える影響について検討するとともに，それらの定量的な評価および要因を複数考慮した評価を行う予定である．

謝辞

本研究は，内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理法人：JST）によって実施されました．

参考文献

1)　山﨑崇央，石田哲也：生存時間解析を用いた東北地方における橋梁コンクリート部材の劣化定量分析，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol.71，No.4，I_11-I_22，2015.
2)　ホスマーデビット，レメショウスタンリー，メイスーザン　（五所正彦　訳）：生存時間解析入門，東京大学出版会，2014.
3)　国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第 2 部】，p.3-34，2014.