

海岸防災施設のリスク管理と維持管理の関係の検討

RELATION BETWEEN RISK MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF COASTAL BANKS

丹治肇¹・桐博英²・小林慎太郎³

Hajime TANJI, Hirohide KIRI and Shintaro KOBAYASHI

¹正会員 農博 農村工学研究所 河海工水理研究室 (〒305-8609 つくば市観音台2-1-6)

²正会員 農村工学研究所 河海工水理研究室 (同上)

³経博 国際農林水産業研究センター 国際開発領域 (〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1)

The relation between risk management and maintenance of coastal banks is discussed. The aim of normal inspections for maintenance of coastal banks conducted monthly is to avoid the risk of large damage or collapse. On the other hand, primary inspections for LCC management are performed at from one to three year intervals to maintain their normal protect function as long as possible. To improve inspection quality and cut costs, these two inspections should be rearranged. To combine normal inspections with LCC management inspections, evaluation of the level of protection functions and reflection of the inspection results in hazard evacuation planning should be improved. Based on data obtained by interviewing actual managers of coastal banks, problems with the present inspection and involving procedures are discussed. Models are used to estimate the future protection functions of the bank heights of coastal banks. The results indicate that inspections should be done annually. To improve the present coastal bank maintenance procedures, considering the level of hazard in the three ranks, inner design level, outer design level and surrounding border level is recommended.

Key Words : LCC, risk management, costal banks, maintenance plan

1. はじめに

海岸保全施設の維持管理と更新にLCC(Life Cycle Cost)の概念を導入することは重要である。既に、海岸関連省庁は、海岸保全施設の維持管理マニュアル¹⁾を提案し、LCCの導入を示唆してきた。筆者らは、実際の海岸管理者に面接して、管理の現状と課題を調査してきた。当初の調査目的は、維持管理マニュアルが現場でどのように使われているのかを明らかにし、問題点の抽出と改善方法を検討することであった。しかし、調査を進めた結果、リスク管理(危機管理)を目的とした点検が最も頻繁に行われていることが分かった。つまり、適切な維持管理点検を行うためには、リスク管理点検の中に、維持管理点検を適切に組み込む方法が重要である。ここでは、この点に配慮しつつ、維持管理とリスク管理の関係を検討する。

2. 検討の方法

海岸堤防の維持管理調査の手順と目的は、現状の変状量の把握、変状量時系列の計測、将来変状量の予測の3段階になろう。現時点では、海岸堤防の維持管理は、マニュアルに基づいた1次点検による変状量の把握に留まっている。1次点検に基づく変状量時系列データはないため、ここでは、熊本県玉名横島海岸の堤防の沈下量データを用いた検討を行う。

(1) 点検方法の調査

現状の変状量の点検を海岸堤防の管理者にヒアリング調査を行い調べる。その際には、リスク管理のための日常点検も併せて調査する。これらの調査結果から、問題点を抽出し、改善方法を提案する。

(2) 変状量の解析

変状量時系列の計測、将来変状量の予測について、現時点で入手できたデータを分析し、問題点を抽出する。ここでは、以下の手法を試行した。

a) マルコフ連鎖モデル

観測間隔が変化するデータから最尤法でモデルを推定するJackson^{2,3)}によるRのパッケージmsmを使っ

たマルコフ連鎖モデルの構築を試みる。

b) Bayes推定

Bayes推定問題を解くには一般にはモンテカルロシミュレーションが必要であるが、二項分布と正規分布については、解析解が知られている。

美添¹⁾によれば、確率変数 X が二項分布 $B_i(n, \theta)$ に従うとき、 X の確率分布は次式で表される。

$$p(x|\theta) = \binom{n}{x} \theta^x (1-\theta)^{n-x} \quad (1)$$

ただし、 $(x=0,1,\dots,n)$ である。

θ に関する事前分布としてベータ分布 $B(a,b)$, $(a>0, b>0)$ を想定する。

$$p(\theta) \propto \theta^{a-1} (1-\theta)^{b-1} \quad (2)$$

ベータ分布の平均、分散は次式で与えられる。

$$E(\theta) = \frac{a}{a+b}, \text{Var}(\theta) = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)} \quad (3)$$

Bayesの定理を適用すると、事後分布はベータ分布 $B(x+a, n-x+b)$ になり、平均と分散について次式が得られる。

$$E(\theta|x) = \frac{x+a}{n+a+b} \quad (4)$$

$$\text{Var}(\theta|x) = \frac{(x+a)(n-x+b)}{(n+a+b)(n+a+b+1)} \quad (5)$$

3. 検討結果

(1) 点検の実態

表-1に調査海岸一覧を示す。LCCマニュアルでは、最も簡便な調査方法として、目視を中心とした1次点検を1～3年の間に行うものとしている。一方、海岸管理者は1次および2次点検以外に表-1に頻度を示した次の点検を行っている。

a) 危機管理のための定常点検

堤防の吸い出し、亀裂等の点検を概ね月1～2回の頻度で行っている。

b) 危機管理のための臨時点検

台風と震度4以上の地震の後には、臨時に定期点検と同じ内容の点検を行っている。臨時点検の直後の定期点検は、事前の臨時点検で代用し、省略することが多い。

c) ゴミ対策のための点検

ゴミの不法時対策のための点検が毎週から2週間に一度程度の頻度で行われていることがある。

ゴミ対策の点検は、堤防を調査しないので、LCCとは関係がない。a)、b)の点検は、1次点検とは異なるが、大きな変状が見つかった場合には、修復が検討される点で、維持管理点検としての機能も有している。以下では、a)、b)の点検を0次点検と呼ぶことにする。

表-1 調査海岸の特徴

県名	対象海岸	部署	管理者	マニュアル	レベル	点検頻度	被災	関心事項
愛知	名古屋港		港湾管理組合	○	1次	不明	無	ひび割れ
三重	津松坂港	国交省	四日市港湾事務所	○	2次	不明	無	ひび割れ・陥没・空洞損傷、空洞、浜の機能
三重	宇治山田港	三重県	港湾・海岸室	○	2次	不明	無	空洞・陥没（養浜箇所）
三重	伊勢湾西南	国交省	三重河川国道事務所	独自	2次	週1回	有	ひび割れ・強度説明
富山	滑川漁港	富山県	水産漁港課	○	2次	月1回	有	沈下・堤防間隙間
佐賀	久保田、福富、白石	佐賀県	農山漁村課	×	1次	月2回	有	沈下・堤防間隙間
熊本	玉名横島、文政、昭和	熊本県	宇土振興局農地整備課	×	1次	月1回	有	ひび割れ・陥没・空洞
沖縄	桃原漁港	沖縄県	海岸防災課他2課	一部修正	2次	月1回	有	

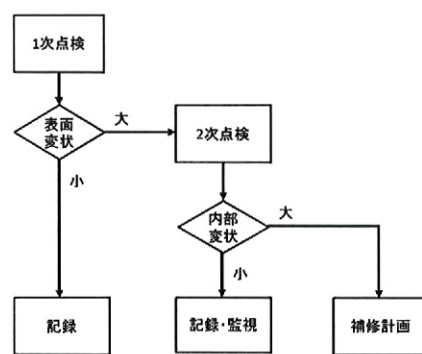


図-1 1,2次点検の機能

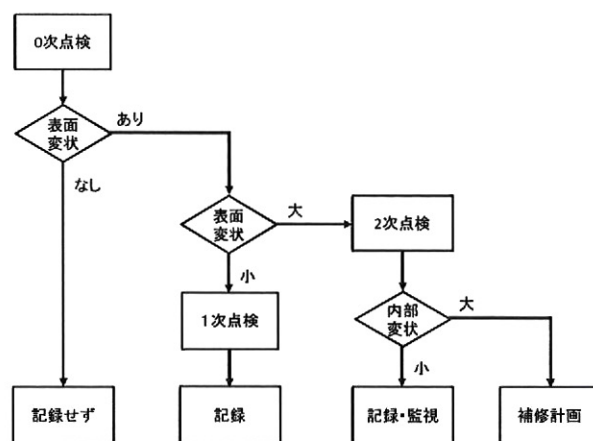


図-2 0,1,2次点検の機能

図-1に従来の1次点検と2次点検の枠組みを示す。図-2に0次点検を考えた場合の点検の枠組みを示す。

(2) 1次点検の課題

1次点検と0次点検の違いは、記録の有無である。現在のマニュアルの1次点検では、各スパン図の上に変状箇所を示す番号を振り、対応する写真を番号でリンクして管理する。これに関連した現地調査結果をまとめる。

伊勢西南海岸を管理する三重河川国道工事事務所

では、マニュアル通りに目地間隔スパン10m毎に健全度評価を行っている。一方、宇治山田港を管理する三重県では、スパン長さは短く煩雑であるとして100m単位に調査票を作成している。調査票と現地の海岸の対応を迅速かつ確実にを行う方法は重要である。例えば、宇治山田港のヒアリングでは、調査対象の位置にある海岸堤防を探す作業に時間がかっている。

写真の利用について、ある地区のヒアリングでは、1次点検の写真は撮るだけで簡単という。しかし、別の地区で1次点検を請け負った会社のヒアリングでは、1次点検の調査票と写真を対応させる整理に、現地調査と同等の時間を要するという。後者が本音だろう。

以上から、1次点検の基本は調査票であり、写真と調査票の対応方法には改善の余地がある。調査票自体を写真化する方法も考えられるが、焦点距離28mmのレンズで、10m下がつて撮影しても、一枚の写真に写る幅は約4mなので、この方法で写真を台帳代わりにするには無理がある。実際に堤防の1スパンを1枚に収めた写真を見ると、斜めからの撮影になっている。

更に、変状箇所が多い場合は、写真のリンクに手間がかかり困難になる。沖縄県⁵⁾では「変状が全体にわたり、一枚の写真に記録できない場合には、全ての変状の状況写真を撮影しなくとも、点検シートの写真位置図に変状の範囲を記入し、代表的な状況写真を貼付することで代用してもよい。」としている。これは、変状箇所数が多いため、写真による時系列変化追跡をサンプル調査で行うことを意味する。

以上から、1次点検については、変状の箇所数が増えると、調査表と写真の管理が困難になること、LCCマニュアルには記載されていないが、表-2のような運用が実際になされていると考えられる。

また、表-1に示したように熊本県と佐賀県ではLCCマニュアルが調査時点では使われていなかった。これは、変状の最大の原因が堤防沈下にあるため、堤防表面の状態に対する関心が低いためである。写真-1は有明海沿いのK海岸堤防の補修状況を示す。写真の部分の堤防は真上から見ると直角に曲がって海に突き出している。堤防の沈下に伴い、スパンの継ぎ目が左右に開いてしまい、数回にわたり、隙間を充填している。写真で、堤防の下部の左右に見えるのは、コンクリート表面から判断した元の堤防端位置を示すA4サイズのパフレット(横幅21cm)で、写真中の□が一つ20cmである。これから、充填された隙間の全長は約160cmである。

(3) リスク管理の課題

0次点検は、迅速なリスク管理を目的としている。台風や地震などの災害後の点検では、迅速性が重視されるため、異常が見つからない限り記録が残されない。一方、月1回の点検では、簡便さが求められるものの、迅速性はさほど必要ではない。従って、この時に何らかの記録を残すことは可能と考える。

表-2 1次点検頻度

		変状の密度	
		高い	低い
変状の進行速度	大	毎年：サンプル	毎年：全数
	小	3年：サンプル	3年：全数

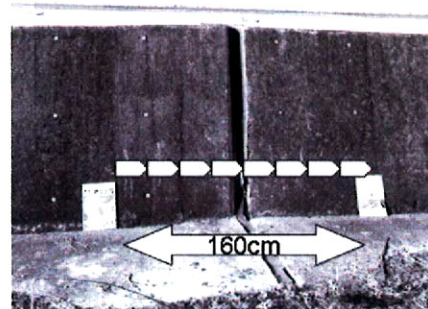


写真-1 K海岸堤防の補修状況

(4) 変状量の解析

変状量は、十分なデータが集まっていないので解析の目的を、将来の精密な解析に向けた予備的な解析を行うこと、解析方法から逆算して、現在の点検方法の改善点を探索することに置く。

玉名横島海岸の堤防天端標高データ⁶⁾は、1979年11月2日(竣工)から22年半の間であるが、竣工後8年間(3,258日目まで)は観測データがなく、その後の観測間隔も不規則である。調査点数は113地点である。データの利用に当たっては、観測値データのみを使う方法と、補間により一定期間観測データに変換して利用する方法がある。ただし、後者の場合、間隔が開いているので、解析結果に補間方法の特徴が反映される可能性がある。

a) マルコフ連鎖モデル

ここでは、観測値データのみを使った解析を行った。図-3の左側の区分で、沈下量に状態を対応させ、全データを時間と状態に集約した。例えば、沈下量が[0,-0.1)mの場合は状態1、[-0.1,-0.4)mの場合は状態2である。当初予定のmsmパッケージは、時間間隔を任意に取れる長所があるが、適用したところ評価関数の最適化ができず、解が求まらなかった。そこで、観測期間が1年前後のデータのみを抽出(全116データ)して、期間を全て1年と見なしてマニュアルで図-4に示すモデルを作成した。

堤防沈下についても、コンクリート劣化と同様に、状態を適切に定義すれば、マルコフ連鎖でモデル化できる。しかし、この方法は、マルコフ過程を前提とするため、図-3のA,B,C,Dのような沈下履歴の違いは考慮されない。特に誤差が大きくなるDのような沈下履歴は、地盤の悪い堤防に途中で消波工を設置した場合が考えられる。同型の変状履歴はコンクリートの健全度では亀裂が生じた後の隙間に水がたまり凍結する場合に相当する。Dのような上に凸の変状は短期間にのみ発生するので、通常は問題にならないが、その期間内に機能喪失する場合には、リスクを

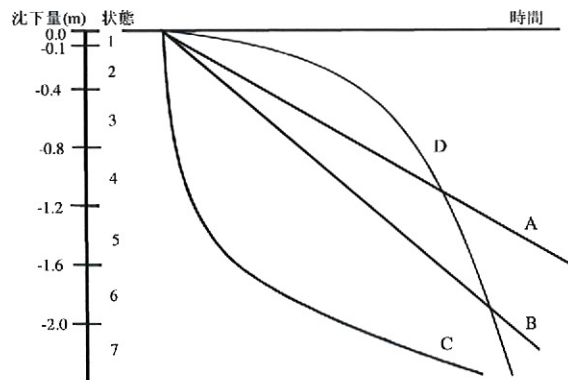


図-3 沈下量と状態

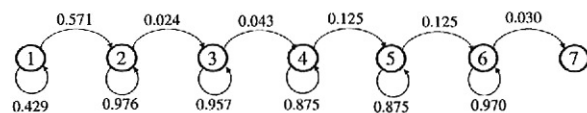


図-4 マルコフ連鎖モデル

考慮すべきである。

b) Bayes推定による二項分布モデル

堤防建設直後で、沈下量の実測データが得られていなかったとする。その場合、平均的な沈下量による寿命推定が合理的になろう。次に、建設後数年が経過し、沈下量のデータが得られたとする。その時には、新たな沈下量データにより、平均沈下量による推定値を修正する必要が生ずる。これは、Bayes推定問題である。ここでは玉名横島の補間データを使う。補間方法は1次または2次関数を使った単純なもので、特に1～3,258日の間はデータがなく、精度があまり高くないと思われる。そこで、ここでは最も単純な二項分布による推定を行った。二項分布は、堤防高さが5.5m以上を機能保持、これ未満を機能喪失とし、113点のデータから、時間毎の機能喪失確率を求めた。海岸堤防の高さが沈下して、判定基準以下になった場合を機能喪失とみなし、2000日単位で整理した。表-3にデータを示す。例えば、Yokoshimaの6000dayの列は、Remain(機能保全)が9、Fail(機能喪失)が4になっているが、これは、4000dayに13地点のうち0～6000dayの間に4地点が機能喪失に至り、9地点が機能保全していたことを意味する。合計(total)は最も下段に書かれている。最初に113地点あり、機能保全地点数は、Remain行に示されているので、例えば、最後の8000dayの機能保全確率は0.58(=66/113)になる。

Bayes推定の事前分布の与え方には、分布形を特定する方法と、分布について特定の情報が無いとする方法がある。例えば、後者の場合、ベータ分布では事前分布で $(a=1, b=1)$ とすれば、区間 $[0,1]$ で $p(\theta)=1.0$ となり、均一分布を仮定する。

まず、0dayで事前分布として、均一分布を仮定して、2000dayの事後分布の推定を行い、次に2000dayのこの分布を事前分布と仮定して、4000dayの事後分

表-3 堤防沈下データ

Bank		2000day	4000day	6000day	8000day
Suchiro	Remain	11	11	11	10
	Fail	0	0	0	1
Kikuchi1	Remain	20	20	20	20
	Fail	0	0	0	0
Kikuchi2	Remain	22	2	0	0
	Fail	0	20	22	22
Yokoshima	Remain	13	13	9	5
	Fail	0	0	4	8
Daini1	Remain	22	22	19	18
	Fail	0	0	3	4
Daini2	Remain	13	12	9	3
	Fail	0	1	4	10
Otoyo	Remain	12	10	10	10
	Fail	0	2	2	2
total	Remain	113	90	77	66
	Fail	0	23	35	47

表-4 二項分布モデル

	0day	2000day	4000day	6000day	8000day
SuchiroB	0.500	0.923	0.958	0.971	0.936
SuchiroA	1.000	1.000	1.000	1.000	0.909
Kikuchi1B	0.500	0.955	0.976	0.984	0.988
Kikuchi1A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kikuchi2B	0.500	0.958	0.543	0.368	0.278
Kikuchi2A	1.000	1.000	0.091	0.000	0.000
YokoshimaB	0.500	0.933	0.964	0.878	0.759
YokoshimaA	1.000	1.000	1.000	0.692	0.385
Daini1B	0.500	0.958	0.978	0.941	0.911
Daini1A	1.000	1.000	1.000	0.864	0.818
Daini2B	0.500	0.933	0.929	0.854	0.704
Daini2A	1.000	1.000	0.923	0.692	0.231
OtoyoB	0.500	0.929	0.885	0.868	0.860
OtoyoA	1.000	1.000	0.833	0.833	0.833
TotalB	0.500	0.991	0.895	0.827	0.767
TotalA	1.000	1.000	0.796	0.690	0.584

布を推定した。以下同様に、8000dayまで計算した。その場合の機能保全確率の推計結果は表-4で、地区名にBが付いている場合がBayes推定、Aが一般の計算である。Bayes推定では、寿命は確率分布を持ち、8000dayではB値はA値より大きくなる。

事前分布の平均を m 、データの平均を $r = x/n$ と表すと、(4)式は次のように書ける。

$$E(\theta|x) = \frac{nr + (a+b)m}{n + (a+b)} \quad (6)$$

これから、事後平均が事前平均とデータの平均の加重平均であり、ウェイトは n と $(a+b)$ である。

試行回数 n 回中、成功回数が y のとき、ベータ分布は $B(y+1, n-y+1)$ になる。別の定式化として4000dayのKikuchi2を表-3のtotalの(Remain:90, Fall:23)を事前情報、Kikuchi2の(Remain:2, Fall:20)を事後情報として解析する場合を考える。(6)式から、事前情報の試行回数が事後情報より大きいため、実測と乖離する。結局、二項分布モデルでは事前情報と事後情報の適切な重みを決定する基準が見つからない。分布に正規分布を仮定する場合には、この重みは分散に依存し、データ数の影響を直接受けない。いずれにしても、過去の平均的な変状進行速度という事前情報を個別の変状に利用する場合には、情報の重み付けが課題である。また、Bayesモデルでは真値は分布になり、測定誤差を考慮するため測定値が真値ではない。

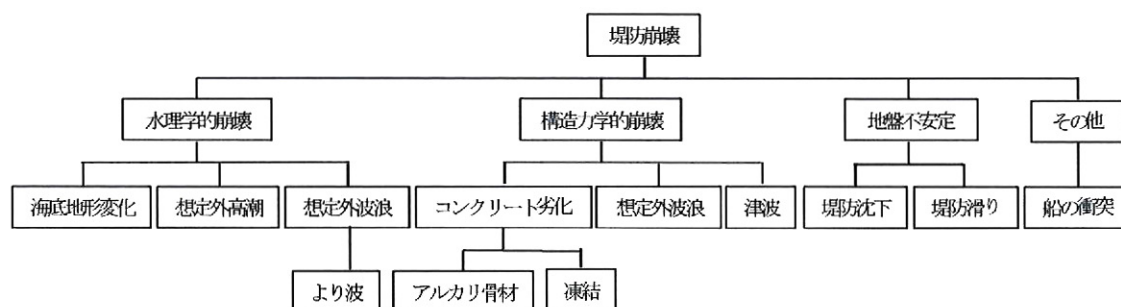


図-5 故障木

表-5 故障木の要素の比較

項目	便覧	Van
波浪の拡大；越波	○	○
洗掘，堤防傾斜不安定	○	○
前浜侵食；堤防先端の破壊	○	○
堤体材料吸い出し，パイピング	○	○
空洞化の進行；パイピング	○	○
消波工の不安定	-	○

4. 維持管理点検の改善法の提案

(1) リスク管理の課題

0次点検の主なねらいは、リスク管理である。現在の災害評価では、次の概念が主流である。

被害＝外力（災害規模）×脆弱性

点検は、この式では脆弱性評価に相当する。避難誘導計画などのリスク管理が、この式に従って行われるのであれば、外力と脆弱性の種類によりリスク管理計画が左右されるはずである。具体的にいえば、健全度が低く、堤防の強度不足が想定される場合と、健全度が高い場合では、異なった避難計画になるはずである。しかしながら、ヒアリングを行った全ての地区で、そのような試みはなされていなかった。リスク管理は、堤防の損傷を調査し、必要とあればできるだけ早急に修復することを目的としていた。

これは、防災計画を見ても同じである。現時点で最も詳細な防災計画を有していると思われる鶴岡市⁷⁾でも変わらない。

脆弱性は故障原因毎に整理され、故障木として整理運用する方法が最も体系化されている。海外では、海岸堤防に対する複数の故障木が提案されている。これらは、図-5のように設計法別に分類する場合と、堤防の構成部品毎に分類する場合と、外力の種類毎に分類する場合に分けられる。1990年にVergeer⁸⁾が外力分類の故障木を提示してから、EUではこのタイプの故障木を用いる例が増えている。国内では、故障木としての利用例は見られないが、海岸施設設計便覧⁹⁾における「海岸堤防に考えられる一般的変状機構」がほぼ、外力の種類の故障木の要素に対応しているとも思われ、LCCマニュアルと三重工事事務所のマニュアル¹⁰⁾はこれを引用している。しかし、変状連鎖と健全度変化が十分に対応していないのでLCCマニュアルに、故障木を導入する意義はあろう。海岸堤防の故障木の枝のネーミングには標準的なものがないので、複数の故障木の対応関係は、単語間の対応問題になってしまう。できるだけ共通点を見出す方向で、便覧の変状機構とVrijling¹¹⁾を細分化したVan¹²⁾の海岸堤防の故障木の枝の対応関係を表-5に示す。これから、消波工を除けば、共通点が多い。

(2) 1次点検の再考

ヒアリングによれば、最初に1次点検を行い、調査票を作成するには、大きな労力と費用が必要である。名古屋港を除けば、その作業は、追加的な臨時経費によって外注で賄われている。調査票をまとめて、管理簿を作成した各管理主体とも最初の1次点検を何とか達成したという状況であり、2回目の1次点検計画が明確に立っているところはなかった。ヒアリングでは、2回目の点検は、既に台帳と調査表があるので、より安価に行えると予測する管理主体が多かった。LCCマニュアルは1次点検の間隔を1～3年と設定しているが、1年後に2回目の1次点検を行う予定の管理主体はなかった。

1次点検の目的は、2次点検のためのスクリーニングと維持管理計画のための機能評価である。想定される変状の進行速度が小さければ、スクリーニングのための点検は、3年の間隔で十分である。一方、維持管理計画には変状の進行速度を推定する必要がある。3年間のデータで推定するに少なくとも3点(9年間)のデータが必要で、予測の時間間隔も10年単位になる。その間に生ずる外力の変動を考えると3年間隔は長すぎる。

一方、管理主体が毎年1次点検を行わない最大の理由は予算制約である。つまり、追加予算なしでは追加点検はできない。そこで改善策を考える。

a) 1次点検の目的の分離

1次点検を2つ目的（目的1：2次点検のためのスクリーニングと目的2：変状の進行管理）に分離する。目的1では全数調査が必要であるが、目的2であれば、サンプル調査で可能である。

b) サンプル計画の柔軟化

サンプリングのためのデータの集合に柔軟性を持たせる。データの集合は調査票の場合には堤防のスパンであるが、宇治山田港で行っているように集合をスパンから100mに変えることで、データ数（調査票枚数）を減らすことができる。あるいは、沖縄県

のように写真を撮る（サンプリング）場合の母集団を変状の数でなく、まとまった変状群にすることで、全数調査でもサンプル数を減らすことができる。

c) 部分サンプリングの活用

全数調査では、時間軸方向のデータ数を増やすことができないので、観測点を絞ってモニタリングする。

d) 0次点検の活用

2回目以降の1次点検の費用確保は不明である。そこで、全区間を10～30分の一の区間に分け、1～3年かけて0次点検の時に少しずつ点検し、記録を残す方法を提案する。これは、1年間の0次点検回数を12回と想定し、そのうち2回は、台風や地震の後の緊急性の高い点検と考え、それ以外の0次点検10回で、2回目以降の1次点検に相当する記録を残す方法である。

(3) 変状の進行管理と予測

変状の把握では、値の分布や誤差の考慮が課題である。変状の予測では、事前情報の活用範囲は小さく思われ、時間軸方向の変状の進行速度の予測精度の向上が課題である。

(4) マニュアルの改定に向けた課題整理

LCCマニュアルの改定を念頭に、以上の問題点を整理する。

a) 因果関係の導入

機能低下原因別の概念を維持管理に導入すると共に、できれば故障木によるリスク管理計画を採用する。

b) 2回目以降の1次点検への対応

LCCマニュアルは1次点検の1回目と2回目以降を区別していない。しかし、コストや手間を考えれば、この2つは分けて考えた方がよい。2回目以降の1次点検で、0次点検が活用できればコストダウンと追加点検の確実性が確保できる。

c) 堤防沈下への対応

有明海周辺の地盤沈下の問題が深刻な地区では、地盤沈下に焦点を絞った維持管理と点検方法を中心に必要がある。

d) 調査票の改善

調査票の改善が0次と1次点検では重要である。現時点では紙媒体が中心であるが今後、タブレット型のPCやGPS付きデジカメが普及すれば改善できる可能性がある。

e) 想定外力のレベルの整理

リスク管理と外力の関係は、想定内、想定外、ボーダーで大きく分かれる。リスク管理では、ボー

ダーでのリスク回避向上が課題である。一方、維持管理は、想定内が原則である。この点も整理が必要である。

5. 結論

リスク管理と維持管理の関係を考察した。公共事業関連予算の今後の予想は厳しく、追加的点検費用の確保は困難である。そこで、海岸管理者と調整しながら、リスク管理のための点検(0次点検)に無理のない範囲で1次点検の一部を組み込む方向のマニュアル改訂を提案したい。

謝辞：表-1の海岸管理者には現地調査に快く応じて頂いた。ここに、深謝する。

参考文献

- 1) 農林水産省・国土交通省海岸関係各課：ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル(案)，2008
- 2) Jackson, Christopher: *Package 'msm'*, 2010.
- 3) Jackson, Christopher: *Multi-state modeling with R*, 2007.
- 4) 美添泰人：ベイズ推論，放送大学テキスト統計学，265-287, 1989
- 5) 沖縄県：琉球政府護岸のライフサイクルマネジメントのための老朽化調査および老朽化対策計画策定マニュアル(案)，2010
- 6) 丹治肇, 桐博英, 小林慎太郎：熊本県八代農地海岸の点検の現状と維持管理の課題，海洋開発論文集，25, 157-162, 2009.
- 7) 鶴岡市危機管理課：鶴岡市地域防災計画について，<http://www.city.tsuruoka.lg.jp/020201/>
- 8) Vergeer, G.J.H. (1990): Probabilistic Design of Flood Defences, Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Report No. 141, Gouda - Netherlands.
- 9) 海岸工学委員会：海岸施設設計便覧，土木学会，2000
- 10) 三重工事事務所：伊勢湾西南海岸老朽化判定マニュアル(案)，2002.
- 11) Vrijling, J.K. and P.H.A.J.M. van Gelder, 2000, Lecture note of the course CT4130, "Probabilistic Design", Delft University of Technology, the Netherlands.
- 12) Van Cong-Mai, Hung-Nguyen Quang, Han Vrijling, Pieter Gelder: Probabilistic design and reliability analysis of coastal structures - a Vietnam case, *Proceedings of the 5th international congress on Asian and Pacific coasts*, Volume.2, pp.201-209, 2009.