

海岸施設の変状連鎖に対する定量的な点検手法の提案

山田 哲也* ・ 永見 敏美** ・ 石谷 俊彦***
山本 修司**** ・ 前田 邦彦***** ・ 山崎 重光*****

海岸施設に対してライフサイクルマネジメントを考慮した維持管理を行うためには、簡易で定量的な点検手法を一次点検に取り入れ、計測値を蓄積し、変状連鎖の将来的な進行予測を行うことが有効である。本研究では、定量的な点検手法として水準測量とシュミットハンマー試験を提案し、実際にコンクリート護岸に適用し、計測結果を地中レーダ探査とコアサンプルによる圧縮強度試験結果と比較した。その結果、計測値の傾向が一致し、本手法により変状連鎖の早期段階を定量的に把握できることを確認した。

1. はじめに

海岸施設は、海水が繰り返し打ち寄せる厳しい環境下に曝されているため、変状連鎖による損傷を受けやすいことが特徴として挙げられる。現在、変状連鎖の早期段階であるコンクリート部材の材料劣化による耐力低下や堤体土砂の吸い出しが進行した海岸施設が増加している。このような海岸施設は、初期の変状連鎖に対して適切な措置が施されないまま変状が進行し、事後的な対策が為され、将来的に不経済となることが懸念される。このため、定期的な点検により早期に変状を発見するとともに変状の進行を計測値として蓄積し、将来的な劣化進行や変状進行を予測して適切なタイミングで対策を施すライフサイクルマネジメント（以下、LCM と記す）を考慮した維持管理を行うことが重要である。

一方、点検の実態は、目視点検を中心とした一次点検と計測機器による詳細な二次点検が基本である。しかし、現行の目視点検は定量的な評価が行われず、点検者の主観が入り込む余地がある。また、計測機器による調査は非経済的な点検となるため、頻度は少なく、点検の範囲は部分的にならざるを得ない。さらに、海岸施設の管理上の問題点として、計測結果は統一化された点検シートによる記録・データ管理がなされていないことも、効果的な維持管理における障害となっている。このため、一次点検に簡易な計測機器を用いた点検手法を取り入れ、定量的な点検データを蓄積することは、効果的な維持管理を行う上で重要である。

本文は、一次点検における定量的かつ簡易な点検手法として水準測量とシュミットハンマー試験を提案し、実際に護岸に対して適用することにより、本手法の妥当性と有用性を確認した研究結果を報告するとともに、本手法による点検結果を記録する点検シート（案）を提案す

るものである。

2. 提案する点検手法

海岸施設の変状連鎖は、進行過程や破壊機構は複雑であり、突発型変状連鎖（波浪、高潮、高波などの災害による変状連鎖）、進行型変状連鎖（地盤沈下や材料劣化など徐々に耐力が低下していく変状連鎖）、さらに、これら変状連鎖を組み合わせたものの 3 種類に区別されることが特徴である。

ここで、本研究で着目する変状は、突発型変状連鎖の過程のなかにおける堤体土砂の吸い出し・堤内空洞化後の陥没・沈下と、進行型変状連鎖の過程のなかにおけるコンクリートの劣化・鉄筋の腐食によって生じる構成品の耐力低下とした（図-1 参照）。

以上を踏まえ、本研究では、突発型変状連鎖を早期に発見する点検手法として陥没の程度や沈下量を把握する水準測量を、進行型変状連鎖を早期に発見する手法として材料劣化による耐力低下を把握するシュミットハンマー試験を提案した。

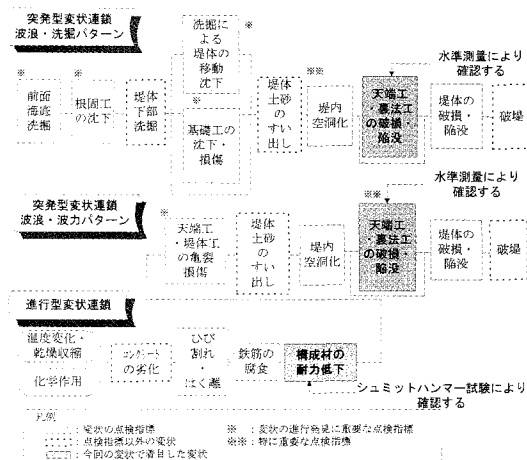


図-1 変状連鎖と着目する変状

*	国土交通省港湾局海岸・防災課 課長補佐
**	福井県土木部港湾空港課 課長
***	名古屋港湾管理組合建設部事業推進課 課長補佐
**** 正会員	工博 (財)沿岸開発技術研究センター理事
***** 正会員	(株)オリエンタルコンサルタンツ 東京事業本部
	(株)オリエンタルコンサルタンツ 東京事業本部

3. 点検の実施

(1) 海岸施設の選定

点検を実施する海岸施設の構造形式は、コンクリート構造物の護岸とした。また、対象とする海岸施設の立地箇所は、本研究で提案する点検手法(水準測量およびシュミットハンマー試験)を将来的に環境条件の異なる他の海岸施設への適用を図ることを視野に入れ、海象・気象条件の異なる日本海側と太平洋側の海岸とした。さらに、水準測量およびシュミットハンマー試験の妥当性確認は、通常、二次点検項目として取り入れられている計測機器を用いた調査の計測値との比較により行う必要があった。このため、海岸施設は、着目する変状(陥没・沈下と部材耐力の低下)に対する二次点検結果の存在する海岸より選定した。

以上を踏まえ、本研究の対象とする海岸施設は、日本海側より福井港海岸を選定し、太平洋側より名古屋港海岸を選定した。

(2) 対象海岸の概要

a) 福井港海岸

福井港海岸(福井地区)は、1982年に整備が完了し、その後約25年が経過した。主な変状は、ケーソン目地部からの吸い出しによる護岸背面の管理用道路の陥没・沈下の進行であった(写真-1参照)。

b) 名古屋港海岸

名古屋港海岸は、1959年の伊勢湾台風後に集中的に整備が進められた。比較的、点検結果の管理状況が良いことが特徴である(写真-2参照)。

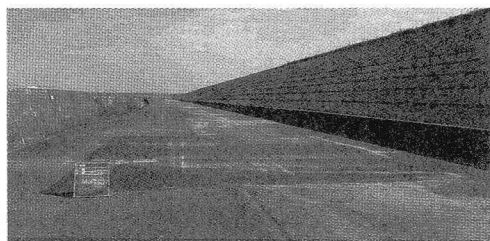


写真-1 福井港海岸

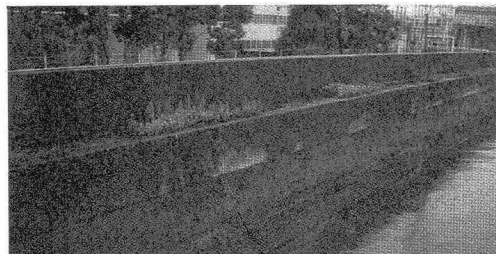


写真-2 名古屋港海岸

(3) 適用した点検手法

a) 水準測量

福井港海岸は、ケーソン目地部からの吸い出しによる護岸背面の管理用道路の陥没・沈下の進行が顕著であり、地中レーダ探査機を用いた空洞化調査結果が存在したため、水準測量を実施した。

b) シュミットハンマー試験

名古屋港海岸は、コアサンプルによる圧縮強度試験結果を実施しているブロックが存在し、コンクリート強度が比較的発現していない箇所として、大手ふ頭と大江ふ頭から各1ブロック(1ブロック約11.0m×2.0m)を選出し、シュミットハンマー試験を実施した。福井港海岸は、全延長に対する打音調査の結果、異常音の確認されたブロック(約15.0m×3.0m)と、目視点検の結果、幅2.0~3.0mm程度の横方向ひび割れが発生している2ブロック(約15.0m×3.0m)に対してもシュミットハンマー試験を実施した。

(4) 点検方法

a) 水準測量

水準測量は、福井港海岸の全延長(約4.15km)に対して実施した。測点は各ブロックの上部工パラペット天端の端部と中央部の2点とし、管理用道路は海側と陸側の端部1箇所ずつの2点とした(図-2参照)。

また、点検員の構成は、トランシットの計測者1名、記録員1名、ミラー員1名、補助員1名の合計4名とし、測量日数は3日間(準備日含む)とした。

b) シュミットハンマー試験

各ブロックを50cm×50cmの格子に分割し、計測値

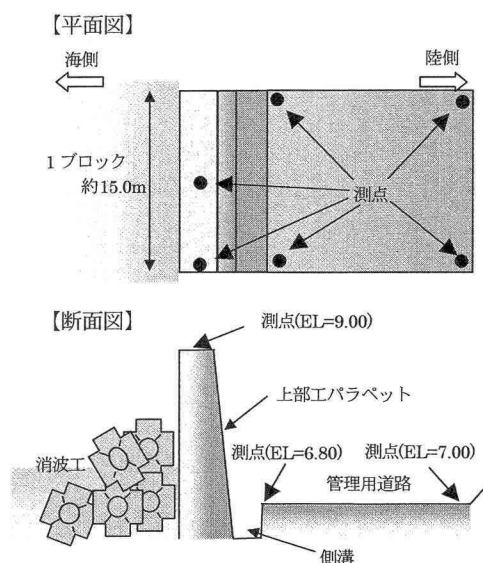


図-2 水準測量の測点

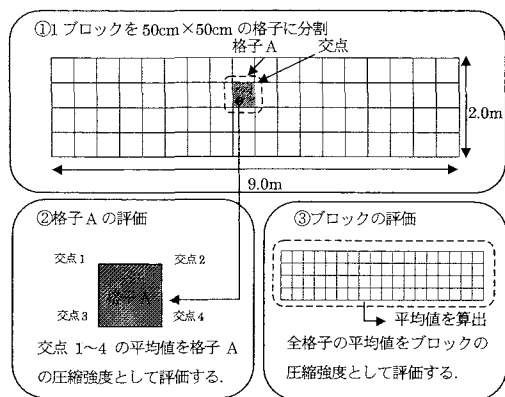


図-3 シュミットハンマー試験

の平均値をそれぞれコンクリート強度とした。また、各格子のコンクリート強度は周囲4点の値の平均値とし、各ブロックのコンクリート強度は全格子の平均値として評価した(図-3参照)。なお、反発硬度からコンクリート強度への換算式は、土木学会の算出式を用いた。

また、点検員の構成は、計測者と記録者の合計2名とし、計測時間は1ブロック(打点数=約1,000打点)を2時間程度とした。

(5) 点検結果

a) 水準測量

福井港海岸の上部工パラペット天端と管理用道路に対する水準測量結果を、横軸にブロックNo, 縦軸に高さ(EL.)としてグラフ化したものが図-4である。同図によれば、福井港海岸の沈下状況は、全延長の55%が設計防護高さ(EL.=9.00m)を満足しておらず、設計防護さの不足量の最大値はNo. 25ブロックで310mmであるこ

とが判明した。また、管理用道路については、上部工パラペットの沈下箇所とほぼ同様に沈下の傾向が確認できた。

b) シュミットハンマー試験

シュミットハンマー試験の結果、図-5に示すように、福井港海岸のNo. 29は全体の9割以上の格子について設計基準強度以上であり、名古屋港海岸の大手ふ頭はブロック全体に渡り設計基準強度を満足していなかった。しかし、部材耐力の試算の結果、地震時の作用力に対して2.0程度の安全率を確保していることを確認できた。

なお、図-5はコンクリート強度が設計基準強度(σ_{ck} =

【福井港海岸 No. 29】

横幅: 13.0m, 縦幅: 2.0m



【名古屋港海岸 大手ふ頭】

横幅: 10.0m, 縦幅: 1.5m



【名古屋港海岸 大江ふ頭】

横幅: 12.0m, 縦幅: 2.0m



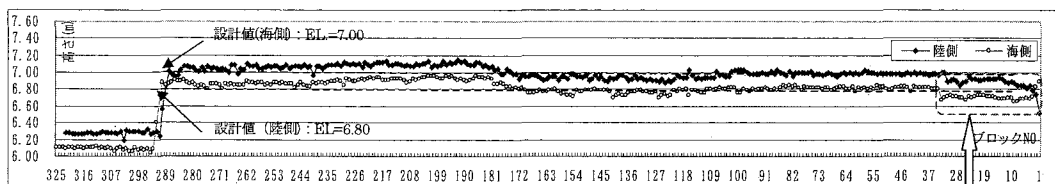
凡例 (○) : コアサンプルの採取箇所を示す。

■ : 設計基準強度 ($\sigma_{ck}=18\text{N}/\text{mm}^2$) 以下の格子

□ : 設計基準強度 ($\sigma_{ck}=18\text{N}/\text{mm}^2$) 以上の格子

図-5 シュミットハンマー試験結果

【管理用道路】



【上部工パラペット】

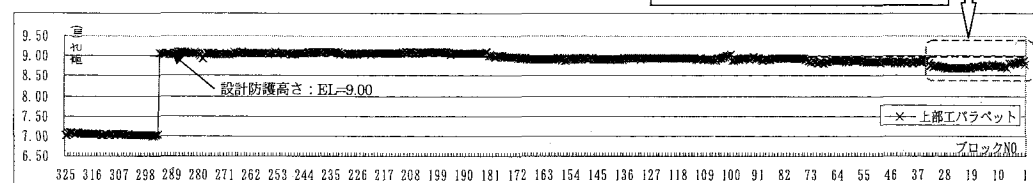


図-4 水準測量結果

18 N/mm²) 以上発現している箇所とそうでない箇所とで区別し図示したものである。

4. 点検手法の妥当性の確認結果

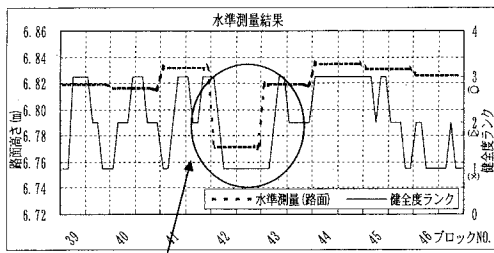
(1) 水準測量

福井港海岸のブロック No. 39 から No. 47 の範囲について、水準測量の結果（管理用道路、陸側の計測値）と、地中レーダ探査による既往の健全度判定の結果を比較した。この結果、図-6 に示すように、水準測量による沈下量が大きい箇所と健全度判定の結果が判定ランク 1 であり管理用道路の空洞化の進行が顕著であると想定できる箇所がほぼ一致することが認められた。

以上より、水準測量は、管理用道路に対する空洞化の進行箇所の発見や吸い出しの追跡調査に関する材料として利用が可能であり、点検手法の妥当性が確認できたと考える。

(2) シュミットハンマー試験

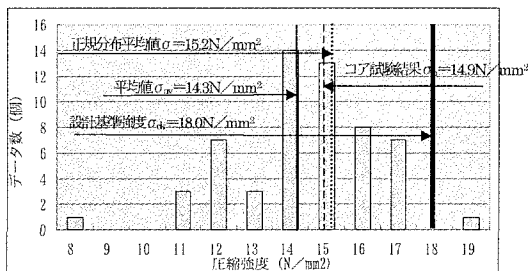
名古屋港海岸の大江ふ頭および大手ふ頭からそれぞれ選出したブロックについて、シュミットハンマー試験による計測結果と強度のばらつき、コアサンプルによる圧縮強度試験結果、設計基準強度の関係を比較したものが図-7 と表-1 である。ここで、シュミットハンマー試験による計測結果は、平均値と正規分布による 95.5% 平均値とした。



水準測量と空洞化調査の傾向が一致していた区間

図-6 水準測量と地中レーダ探査結果の比較

【名古屋港海岸 大手ふ頭】



【名古屋港海岸 大江ふ頭】

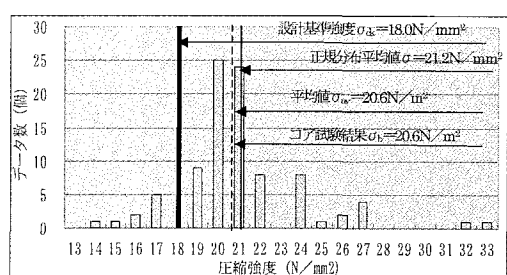


図-7 シュミットハンマー試験結果（データ数と圧縮強度）

この結果、シュミットハンマー試験による計測値の平均値 (σ_{av} とする) と既往のコアサンプルによる圧縮強度試験結果 (σ_b とする) は、それぞれ、大手ふ頭の場合は、 $\sigma_{av}=14.3$ N/mm², $\sigma_b=14.9$ N/mm² となり、大江ふ頭の場合は、 $\sigma_{av}=20.6$ N/mm², $\sigma_b=20.6$ N/mm² となり、両者はほぼ一致した。さらに、コアサンプルの採取箇所に着目したところ、シュミットハンマー試験の計測結果 (σ_c とする) は、大手ふ頭の場合は、 $\sigma_c=14.0$ N/mm² となり、大江ふ頭の場合は、 $\sigma_c=20.7$ N/mm² となり、コアサンプルによる圧縮強度試験結果とほぼ一致した。

以上より、シュミットハンマー試験によるコンクリート強度試験は、コンクリート強度の計測手法として適用が可能であり、点検手法の妥当性が確認できた。

表-1 シュミットハンマー試験結果 (単位: N/mm²)

項目	大手ふ頭	大江ふ頭
平均値 (σ_{av})	14.3	20.6
コア試験結果 (σ_b)	14.9	20.6
コア採取箇所の計測値 (σ_c)	14.0	20.7
95.5% 正規分布平均値	15.2	21.2
設計基準強度 (σ_{ak})	18.0	18.0

5. 点検結果の蓄積

本研究で提案する水準測量およびシュミットハンマー試験を一次点検において実施し、さらに、統一した点検シートを利用し計測値を蓄積することで、将来的な劣化予測や変状の進行予測が効率的に行えると考えられる。このため、本研究では、図-8 に示す点検シート (案) を作成し、実際に今回の点検において試行を図った。ここで、この点検シート (案) は、1 ブロックの一次点検結果を 1 シートで示し、点検項目は各部位ごとの目視点検、損傷図、シュミットハンマー試験である。このような点検シートを利用し定期的な点検を行うことで、コンクリート部材の劣化進行予測を行う上での基礎情報が蓄積されると期待できる。

各部位の点検結果を記入

点検年月日 平成 15 年 8 月 1 日		天候 (晴) 曇 雨	
海岸名	福岡県宮崎県	海岸施設番号	建設年度
点検者氏名	点検者所属	対象スパン	建設年度
※項目に対して、該当する変状ランクを記入する。()			
点検部位	点検方法	変状現象	変状ランク
護岸工	目視	種類、数量及び位置	変状なし
	ブロックの破損	変状なし	変状なし
護岸工	目視	ひび割れ、剥離、陥没	変状なし
	目視	陥没の調査	変状なし
護岸工	目視	沈下・陥没	変状なし
	コンクリートの劣化	設計基準強度以上	設計基準強度以下
護岸工	目視	防凍害の状況	設計防凍害以上
	目視	防凍害の状況	設計防凍害以下
護岸工	目視	防凍害の状況	設計防凍害以上
	目視	防凍害の状況	設計防凍害以下

【特記事項】 打音試験(縦断面)の結果

シュミットハンマー試験結果を記入

損傷図を記入

図-8 点検シート(案)

6. 本研究の結論

本研究の結果、以下の結論を得た。

- ① 水準測量による計測値の妥当性は、管理用道路の水準測量結果と空洞化調査による健全度判定結果を比較して確認した。この結果、沈下量が大きい箇所と健全度判定が最低ランクの集中する箇所が一致しており、計測値の妥当性が確認できた。このため、水準測量を一次点検手法として採用し、定期的に沈下量の計測値を蓄積して、その時系列分析により、堤体土砂の吸い出しの予測が可能であるといえる。
- ② シュミットハンマー試験による計測値の平均値は、既往のコアサンプルによる圧縮強度試験結果とほぼ

一致した。このため、シュミットハンマー試験は堤体のコンクリート強度を計測する手法として適用可能な精度を有することが確認できた。この結果、簡易なシュミットハンマー試験を一次点検に加えることで、コンクリート強度の経年的な値が蓄積され、この経年変化値を解析することにより、材料劣化の進行予測が可能となる。

今後の課題は、1ブロックに対する計測箇所や計測数、海岸施設の全延長に対する点検範囲など、具体的な計測方法の設定である。

7. おわりに

本研究で提案した点検手法は、海岸施設に対する LCM を考慮した維持管理の確立に向け、変状連鎖の進行や全延長に対する変状の範囲の把握、海岸施設の管理値や補修・補強工の設計値の設定について有効である。また、点検頻度の設定や点検の必要性の判断は、海岸管理者が変状の経年変化や海岸施設の重要度に応じて行う必要があることを付加しておきたい。

しかし、本研究で点検を実施した護岸について継続調査を実施し、計測値を蓄積・分析することにより、提案手法の信頼性を更に向上させる必要がある。また、海岸施設が多様な環境面・利用面を持ち合わせており、施設の目的に応じて着目する変状連鎖の種類も異なるため、他の種類の変状(例えば、凍害、侵食)に対する定量的な点検手法の確立も必要である。このため、今後は、他海岸に対するケーススタディーを実施し、具体的な点検方法や他の変状に対する点検手法の提案、さらに、点検要領の改訂・更新に対する研究を進める予定である。

最後に、本研究は、国土交通省及び農林水産省が設置した「海岸保全施設のライフサイクルマネジメント研究会」の助言と協力のもと行われた。ここに記して研究会の委員及び関係者に御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 土木学会 (2002): コンクリート標準示方書「基準編」, pp. 203-206.
- 土木学会編 (2000): 海岸施設設計便覧, pp. 515-542.
- 難波喬司・横田弘他 (2003): 海岸保全施設における LCM (ライフサイクルマネジメント) の導入検討, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 916-920.