

無筋海岸コンクリート構造物のひび割れ深さの推定に関する統計解析

Statistical Analysis on Crack Depth of Unreinforced Concrete Structures Predicted by Crack Width

北海道大学大学院 工学院
北海道大学大学院 工学院
北海道大学大学院 工学院

○学生会員
フェロー会員
正会員

古谷宏一
横田 弘
橋本勝文

Koichi Furuya
Hiroshi Yokota
Katsufumi Hashimoto

1. はじめに.

我が国における水産業の基盤施設である漁港施設は、現在 10 兆円を上回る規模に達している。これらの既存ストックの多くは、高度経済成長期に建設されたため、建設後 30 年以上経過しており、維持・更新を必要とする施設が増加している¹⁾。今後維持更新費が事業予算に占める割合が増加することが予測されており、施設の効果的かつ効率的な維持管理を行いコストの縮減が求められる。漁港施設においては、平成 20 年度より「水産基盤ストックマネジメント事業」が創設された²⁾。しかしながら、概念的な方針が示されているだけで、施設の性能低下を照査する方針が定量的に示されていないのが現状である。特に、漁港施設の主要構造形式である無筋コンクリート構造物の劣化状態や健全度を評価するための明確な基準が存在しない。

筆者らは、漁港施設の現地調査を行い、現地調査結果を整理し、調査結果に基づく、無筋海岸構造物の有限要素解析を行ってきた。その結果、目視によるひび割れ幅からひび割れ深さを推定し、施設の耐力低下の関係を示すことができた³⁾。しかしながら、ひび割れ深さは、ひび割れ幅だけでなく構造物の寸法などに依存すると考えられる。したがって、複数の施設のひび割れ調査を行い、データを蓄積することにより、汎用性の高い耐力低下の予測法の提案が必要である。

これらのことより、本論文では、3 箇所の無筋海岸構造物のひび割れ調査により得られたデータの統計解析から、ひび割れ深さを推定する手法を検討した。



図-1 胸壁に発生したひび割れの例



図-2 防波堤の外観

2. 現地調査

(1) ひび割れ幅および深さの測定

防波堤胸壁に発生したひび割れの例を図-1 に、防波堤胸壁の外観を図-2 および防波堤胸壁の断面図を図-3 に示す。ひび割れ深さの測定は衝撃弾性波法により行った。測定は、防波堤胸壁に作用する外力あるいはコンクリートの収縮により発生したものと推定される鉛直方向に発生していたひび割れを対象とした。各ひび割れに対して、防波堤胸壁の下端から測定点までの距離とその地点でのひび割れ幅およびひび割れ深さを測定した。現地調査を行った漁港施設は 3 施設である。そのうち、5 スパンの防波堤胸壁 においてひび割れ幅および深さを測定した。

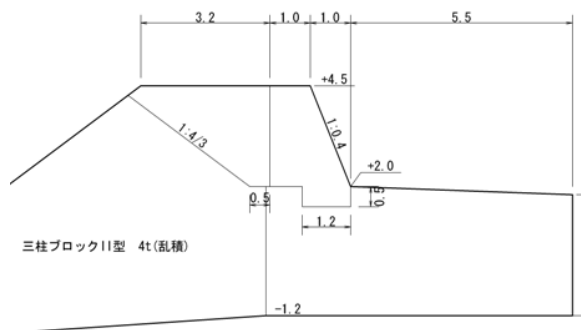
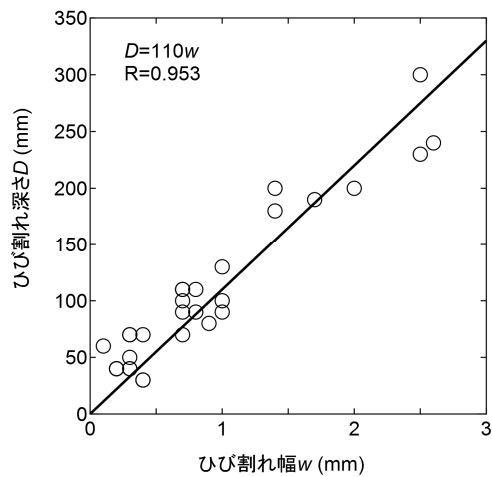
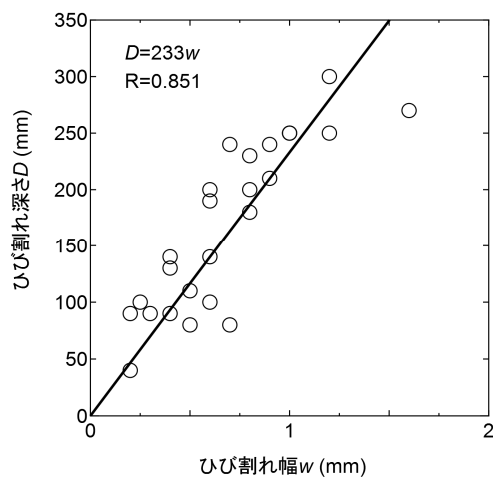


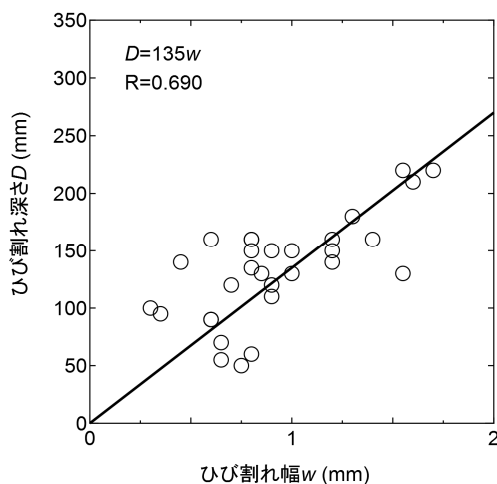
図-3 防波堤胸壁の標準断面図



(a) $H=2.8, B=1.1, W=5.0(\text{m})$



(b) $H=3.7, B=2.4, W=7.6(\text{m})$



(c) $H=2.7, B=1.5, W=5.0(\text{m})$

図-4 構造物ごとのひび割れ幅と深さの関係

(2) ひび割れ幅とひび割れ深さの関係

調査対象とした防波堤胸壁のひび割れ幅とひび割れ深さの関係を図-4 示す。ここでは、胸壁の寸法として、高さ H 、厚さ B （本論文においては、胸壁上辺厚さ B_1

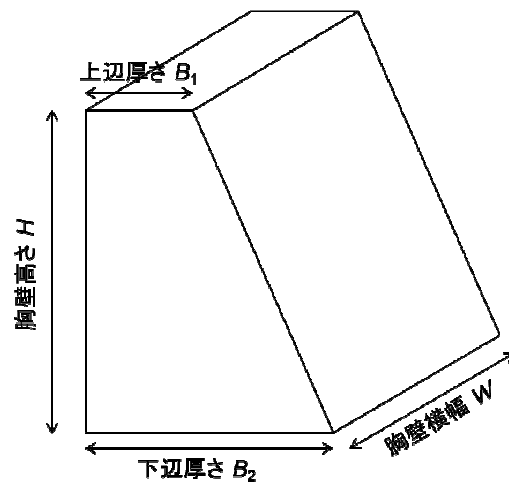


図-5 防波堤胸壁寸法の定義

と下辺厚さ B_2 の平均値)、横幅 W とした。各寸法の測定位置を図-5 に示す。線形回帰によると、図-4 に示すように、両者には大きな相関が確認された。これより、ひび割れ深さを推定する式においてひび割れ幅は重要な指標であると考えられる。実務上、ひび割れ深さを測定するには長時間を要し、さらに、特別な装置が必要であるため実用的ではない。そのため、ひび割れ深さをひび割れ幅など目視検査で簡易に測定できるパラメータで推定することができれば実務上非常に有意義であると考えられる。しかしながら、ひび割れ幅とひび割れ深さの回帰係数 A はその構造物ごとに大きく異なっている。そのため、構造物の寸法が回帰係数 A に与える影響を検討する必要がある。

(3) 防波堤胸壁寸法の影響

ここでは、防波堤胸壁寸法（高さ H 、厚さ B 、横幅 W ）がひび割れ幅とひび割れ深さの関係式に含まれる回帰係数 A に与える影響を検討する。

回帰係数 A と胸壁高さ H の関係を図-6 に示す。同図より、相関係数が 0.678 と中程度の相関が認められた。両者には高い相関は認められないが、一定の相関を有していると考え、胸壁高さ H をひび割れ深さ D の算出式における説明変数として検討する必要があることがわかった。

回帰係数 A と胸壁横幅 W の関係を図-7 に示す。同図より、相関係数が 0.512 と小さい相関が認められた。つまり、胸壁横幅 W が回帰係数 A に与える影響が小さいことがわかった。したがって、胸壁横幅 W をひび割れ深さ D の算出式において説明変数として採用しないこととした。

回帰係数 A と胸壁厚さ B の関係を図-8 に示す。同図より、相関係数が 0.946 と両者には大きな相関が認められた。つまり、胸壁厚さ B は回帰係数 A に与える影響が非常に大きいことがわかった。したがって、胸壁厚さ B をひび割れ深さ D の算出式における説明変数として採用することとした。

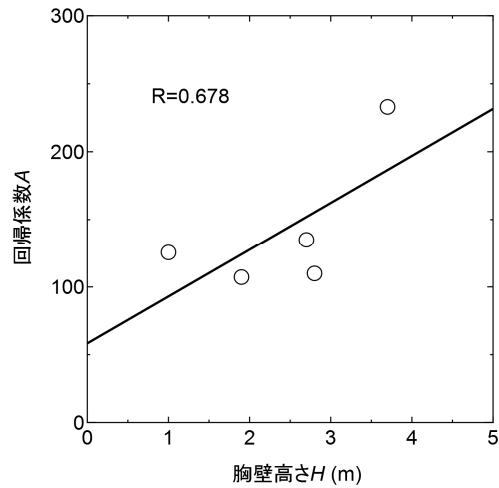


図-6 胸壁高さ H と回帰係数 A の関係

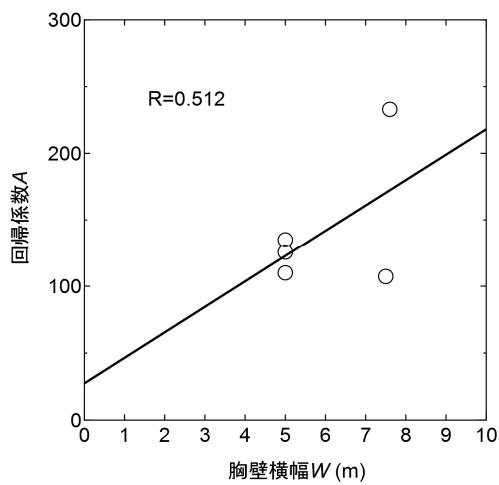


図-7 胸壁横幅 W と回帰係数 A の関係

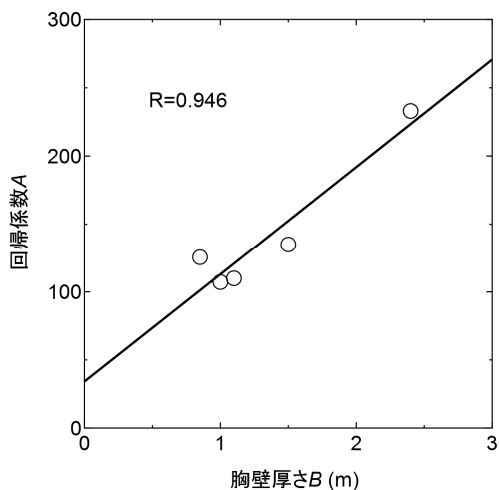


図-8 胸壁厚さ B と回帰係数 A の関係

以上より、ひび割れ深さ D を算出する回帰式を求める際、胸壁厚さ B が非常に重要なパラメータであることがわかったため、説明変数として採用した。さらに、胸壁高さ H も中程度の相関がみられたため、ひび割れ深さ D を算出する回帰式の説明変数としての有効性を

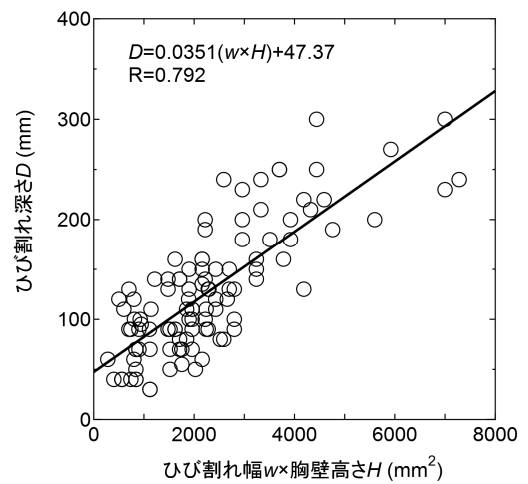


図-9 ひび割れ幅 $w \times$ 胸壁高さ H とひび割れ深さ D の関係

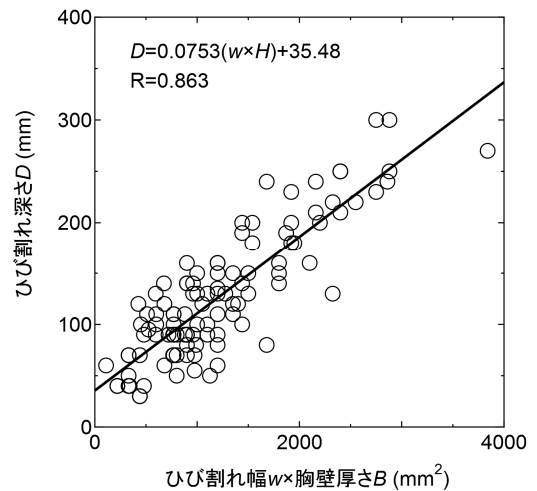


図-10 ひび割れ幅 $w \times$ 胸壁厚さ B とひび割れ深さ D の関係

検討する必要があると考えた。

3. ひび割れ深さ D の算出式の提案

(1) ひび割れ深さ D に関する相関

ひび割れ幅 $w \times$ 胸壁高さ H とひび割れ深さ D との関係を図-9 に示す。これより、相関係数が 0.792 とやや大きい相関が認められた。これにより、ある程度のばらつきを有するものの、胸壁厚さ H とひび割れ幅 w からひび割れ深さ D を推定することが可能であることがわかった。

ひび割れ幅 $w \times$ 胸壁厚さ B とひび割れ深さ D との関係を図-10 に示す。これより、相関係数が 0.863 と大きい相関が認められた。よって、胸壁厚さ B を用いた推定式のほうが、先ほどの胸壁高さ H を用いた推定式より精度よくひび割れ深さ D を推定できる。しかしながら、上記において胸壁高さ H を用いた場合でも、やや大きい相関を持つことを確認している。この理由として

表-1 パラメータ間の相関係数

	深さ D	幅 w	厚さ B	高さ H	横幅 W
深さ D	1.000	0.668	0.409	0.342	0.228
幅 w	0.668	1.000	-0.142	-0.076	-0.102
厚さ B	0.409	-0.142	1.000	0.836	0.593
高さ H	0.342	-0.076	0.836	1.000	0.358
横幅 W	0.228	-0.102	0.593	0.358	1.000

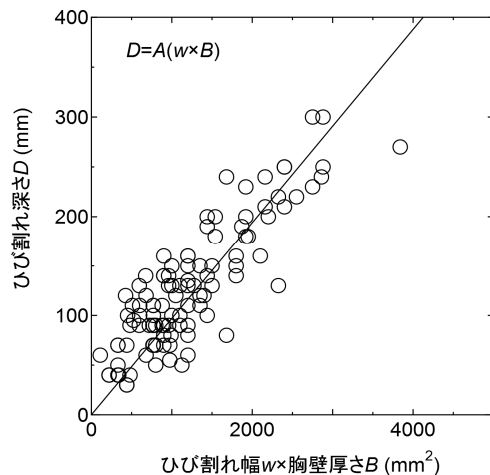


図-11 ひび割れ深さの測定値および推定値

は、表-1 に示すように、調査防波堤胸壁の厚さ B と高さ H との相関係数が 0.837 と大きく、両者はひび割れ深さ D 算出式における説明変数としてほぼ同等の意味を持っているためである。

以上より、目視調査で簡易に得られるデータである胸壁厚さ B とひび割れ幅 w により、ひび割れ深さ D をある程度の精度を持って推定できることがわかった。さらに、胸壁高さ H は、説明変数として胸壁厚さ B とほぼ同等の意味を持つ可能性が高いので、重回帰式には不適格であるとした。

(2) ひび割れ深さ算出式

上述のように、ひび割れ幅 w と胸壁厚さ B において、ある程度の精度を持って、ひび割れ深さ D を推定できるとことがわかった。算出式を導出する際、ひび割れ幅 w が確認されない ($w=0$) 場合、ひび割れ深さ D が 0 であることは自明であるため、切片を 0 として回帰分析を行った。以上より、本論文ではひび割れ深さ算出式として式(1)を提案する。式(1)を用いてひび割れ深さを推定した結果を図-11 に示す。その結果、式(1)の有意 F 値が 3.8×10^{-33} と有意水準 5%において有意となった。したがって、本論文で提案する回帰式の有意性が確認できた。

$$D = A(B \cdot w) \quad (1)$$

ここで、

D : ひび割れ深さ(mm)

A : 回帰係数(0.09695),

信頼性区間 99%で (上限 0.10359, 下限 0.09031)

B : 胸壁厚さ(mm)

w : ひび割れ幅(mm)

4. まとめ

本論文では、ひび割れを有する無筋海岸構造物の現地調査結果を統計手法により整理し、目視調査で簡易に測定可能なひび割れ幅および胸壁寸法からひび割れ深さを推定することを目的とした。本論文で得られた主要な結果は次のとおりである。

- (1) 構造物ごとにひび割れ幅とひび割れ深さの関係を整理した結果、両者には大きい相関が確認できた。ひび割れ幅がひび割れ深さを推定する際に重要なパラメータであることが認められた。
- (2) 構造物の寸法による影響を考慮した結果、ひび割れ深さには、胸壁の厚さと高さが大きく影響を与えることがわかった。
- (3) 構造物に発生していたひび割れ幅と胸壁厚さからひび割れ深さを推定する式を提案した。

今後、類似の構造物データをさらに収集し、ひび割れ深さの推定式の精度および信頼性を向上したいと考えている。また、推定式を用いて、ひび割れを有する無筋海岸構造物のモデル化および有限要素解析を行い、劣化の進行およびひび割れの進展と構造性能低下の関係に関する知見を得たいと考えている。

謝辞

現地調査の実施に際して、(株)アルファ水工コンサルタンツ・吉野真史氏および北海道大学大学院修士 1 年・中村一貴君、山本優里子さん、同学部 4 年・尾崎亮太君、城ヶ崎雄太君のご協力をいただきましたことに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 三上信雄, 保坂三美, 水野哲史, 白戸則幸, 笠井哲郎: 漁港施設機能保全計画の事例分析によるストックマネジメントのコスト削減効果に関する研究, 水産開発論文集, 第 26 巻, 2010 年, pp.195-200
- 2) 水産庁漁港漁場整備部: 機能保全計画策定の手引き(案), 2009
- 3) 古谷宏一, 山本優里子, 横田弘, 橋本勝文: 漁港施設を構成する無筋コンクリート構造物の劣化度判定基準に関する研究, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, Vol.20, pp.295-298, 2011.