

## 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規準に関する研究

北海道大学		○古谷 宏一
北海道大学		山本優里子
北海道大学	工博 正会員	横田 弘
北海道大学	工博	橋本 勝文

### 1. はじめに

漁港，海岸保全施設等の無筋コンクリート構造物の老朽化が深刻化しており，補修，更新を必要とする施設が増大してきている<sup>1)</sup>。そのため，ライフサイクルマネジメントを体系的に捉え，計画的な取組みにより構造物の長寿命化を図り，更新コストの平準化と低減をする必要がある。しかしながら，無筋コンクリート構造の劣化度判定規準は不明確であり，劣化度と力学的性能低下との定量的な関係に基づいたものではない。さらに，無筋コンクリート構造物の性能評価に対する研究も非常に少ない。そのため，無筋コンクリート構造物の性能低下を予測する上で，最も重要な劣化指標となると考えられるひび割れ幅およびひび割れ深さが無筋コンクリート構造物の力学的性能に及ぼす影響を検討する必要がある。

本研究では，定量的な力学的根拠に基づく無筋コンクリート構造物の劣化度判定規準を作成するため，事例として取り上げた漁港の防波堤胸壁においてひび割れ幅とひび割れ深さを測定し，両者の相関式を得た。さらに，有限要素解析によりひび割れを有する無筋コンクリート構造物の耐力を求めた。その結果，防波堤胸壁のひび割れ幅と性能低下の関係を明らかにし，新たな劣化度判定規準を提案した。

### 2. 現地調査

#### 2. 1 調査概要

調査対象とした漁港防波堤の概略を表-1に示す。調査項目として，施設全体の劣化具合の観察，防波堤胸壁に発生したひび割れの幅とひび割れ深さを抽出した。

#### 2. 2 ひび割れ測定

ひび割れ幅の測定は，携帯型ひび割れ幅測定器を用いて行った。ひび割れ幅の最小測定値は0.05mmである。また，ひび割れ深さの測定は，弾性波法により行った。弾性波法でのひび割れ深さの測定方法には，直角回折法を用いた。測定においては，防波堤胸壁に上縁から下縁まで鉛直方向に貫通して発生していた3本のひび割れを対象とした。各ひび割れに対して，胸壁工の下縁から測定点までの距離とその地点でのひび割れ幅とひび割れ深さを測定した。

#### 2. 3 調査結果

##### (1) 全体の劣化状況

目視で確認できる海上部全体にひび割れが生じており，非常に劣化が進行している段階であった。胸壁にはコールドジョイントと見られる横向きのひび割れと外力によって生じたと考えられる縦方向

表-1 調査施設の概要

名称	延長(m)	構造形式	建設年(胸壁)	補修歴
南防波堤	130.8	コンクリート単塊式	昭和54~60年	平成10年胸壁工補修
東防波堤	57.7	コンクリート単塊式	昭和52年	なし

の3本のひび割れを確認した。

(2) ひび割れ測定データ

測定の結果、上述の3本のひび割れから合計30組のデータを測定した。胸壁の下縁から測定点までの距離とひび割れ深さの関係を図-1に示す。これより、胸壁の下縁から測定点までの距離とひび割れ深さの関係は、相関係数が0.38と小さく、両者には相関は見られない。しかし、胸壁の下縁からの距離の増加に伴い、ひび割れ深さわずかに増加する傾向が見られた。

ひび割れ幅とひび割れ深さの関係を図-2に示す。これより、ひび割れ幅が大きくなるとひび割れ深さも深くなる傾向が認められ、相関係数が0.69の線形関係が得られた。実務上ひび割れ幅のみで劣化度を判定できることは、非常に有効であると言えるので、相関係数は高くないもののおおむね線形関係が認められることから、本研究においては、ひび割れ幅でひび割れ深さを表現する回帰式として式(1)を定義した(図-2中の実線)。しかしながら、生存確率50%の平均値で整理した場合には危険側の予測結果を与えることになるため、より安全側で予測することを目的に式(2)を提案した(図-2中の破線)。この式では、測定した点の85%以上を安全側に見ることができる式になっている。本研究の有限要素解析においては、ひび割れ幅とひび割れ深さの関係を示す式(2)を用いて解析を行った。

$$D_{50} = 135 * W \quad (1)$$

$$D_{85} = 200 * W \quad (2)$$

ここで、 $D_{50}$ および $D_{85}$ ：ひび割れ深さ(mm)， $W$ ：ひび割れ幅(mm)

3. ひび割れを有する無筋コンクリート構造物の耐力計算

3.1 モデル化の概要

式(2)に基づいて、ひび割れ幅からひび割れ深さを算出した。そのひび割れ諸元を用いて、図-3に示す防波堤胸壁の構造解析モデルを作成した。構造解析ソフト DIANA を用いて非線形要素解析により初期ひび割れを有する無筋コンクリート構造物の耐力を求めた。ここでは、耐力は弾性限界の荷重と定義した。幅(0~10mm)に対応した深さ  $D$  を有するひび割れを解析モデルの中央に境界要素として設定し、ひび割れを表現した。また、荷重载荷に伴って生じるひび割れの進展は、分散ひび割れモデルを用いて表現し、その構成則は線形引張軟化モデル<sup>3)</sup>を用いた。設定荷重は、X、Y、Z方向の3方向に面分布荷重として与えた。XおよびY方向に荷重を与えた場合は、拘束条件として底面を完全固定とした。Z方向に荷重を与えた場合は、拘束条件は側面を完全固定とした。なお、解析条件として与えたコンクリートの材料物性値を表-2に示す。

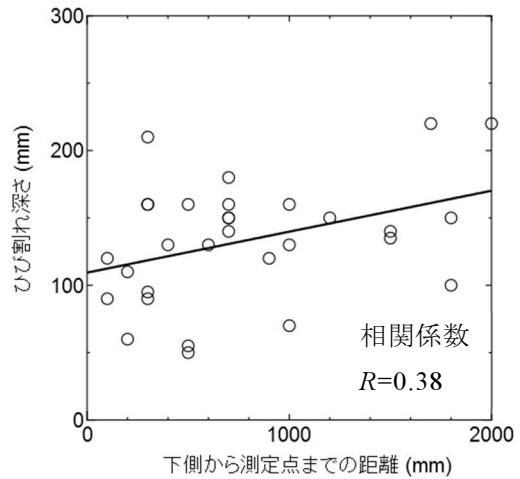


図-1 胸壁の下側からの距離とひび割れ深さの関係

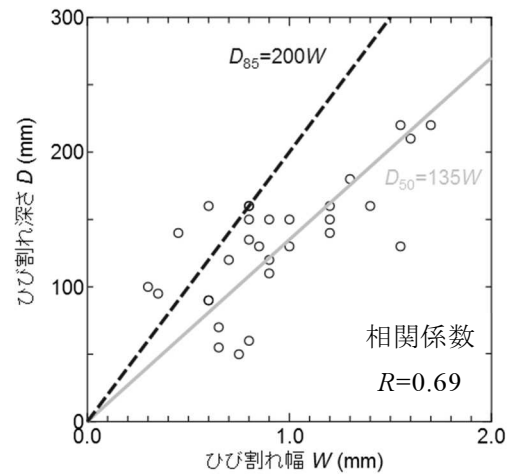


図-2 ひび割れ幅とひび割れ深さの関係

### 3. 2 解析結果

X方向に荷重を与えた時の荷重・変位曲線を図-4に示す。これより、初期ひび割れ幅 0mm および 1mm の場合、荷重・変位曲線は概ね同じであった。また、初期ひび割れ幅が 5mm を超える場合、耐力の低下が著しいことがわかった。しかしながら、初期ひび割れ幅が 7~9mm の場合、耐力は低下傾向にあるが、大きな差は見られなかった。初期ひび割れ幅が 10mm の場合、深さ方向 (X方向) に完全に貫通しているひび割れとなり、著しい耐力低下が確認された。Y方向に荷重を与えた場合の荷重・変位曲線を図-5に示す。これより、初期ひび割れ幅 0mm および 1mm の場合、X方向载荷と同様に、荷重・変位曲線は概ね同じであった。その後、初期ひび割れ幅が増加するに従って耐力低下が生じ、前述の X方向の結果と比較した場合、その低下量が大きかった。よって、モデル中央に初期ひび割れが生じている場合、ひび割れ面に垂直な荷重を与えた場合の方がより危険側になること傾向が示された。また、初期ひび割れ幅が 10mm の場合、貫通ひび割れとなったが、Y方向の場合においては、初期ひび割れが貫通しているか否かは耐力に大きく影響を与えなかった。Z方向に荷重を与えた時の荷重・変位曲線を図-6に示す。これより、初期ひび割れ幅が 0~3mm においては、概ね同じ挙動を示しており、耐力低下は見られなかった。初期ひび割れ幅が 5mm の場合、耐力低下が著しくなる大きくなった。さらに、初期ひび割れ幅が 7mm を超えるケースの場合、耐力低下量が非常に大きくなった。

### 4. 劣化度判定規準

#### 4. 1 初期ひび割れ幅と耐力

図-7に、初期ひび割れが 0mm の場合の耐力を 1.0 として求めた耐力比と初期ひび割れ幅との関係を示す。これより、初期ひび割れ幅が 1mm の場合、X および Y 方向の耐力低下は見られなかった。X方向では、初期ひび割れ幅の増加に伴い、なだらかな耐力低下が生じており、初期ひび割れ幅が 10mm の場合、急激な耐力低下が見られた。Y方向では、初期ひび割れ幅の増加に伴

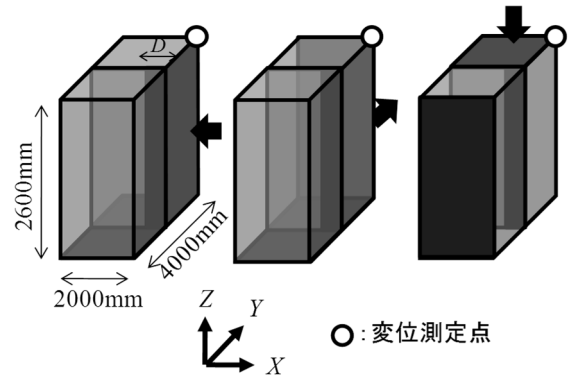


図-3 解析モデル概要

表-2 材料物性値

ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	31000
ポアソン比	0.15
引張軟化開始応力 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	2.5
終局ひずみ $\epsilon_u$	0.000311
せん断保有係数 $\beta$	0.2

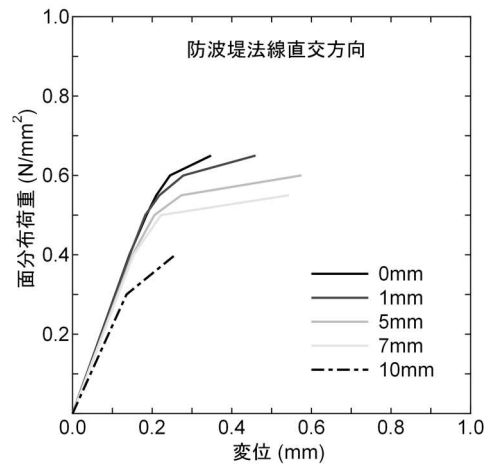


図-4 X方向の荷重・変位図

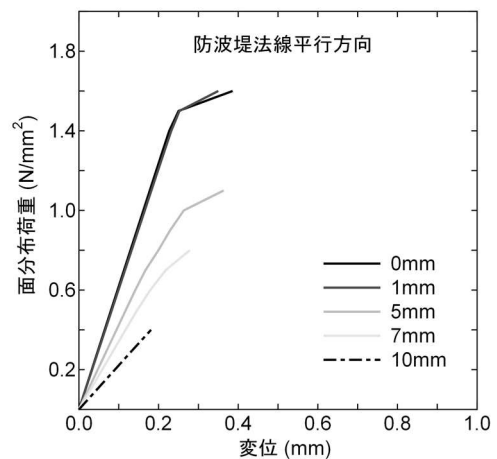


図-5 Y方向の荷重・変位図

い、比例的に耐力低下が見られた。この場合、耐力低下の勾配は X 方向と比較して急であり、初期ひび割れ幅が 7mm の場合、耐力が概ね 1/2 となった。Z 方向については、初期ひび割れ幅が 3mm までの場合、耐力低下は確認できないが、初期ひび割れ幅が 5mm の場合、急激な耐力低下が生じていた。

4. 2 劣化度判定規準の提案

上記の結果に基づき、現在利用されている劣化度判定規準<sup>3)</sup>(表-3)に対応させて、d, c, b, a の 4 段階評価とした劣化度判定規準を提案する。すべての荷重方向で耐力低下が見られなかった初期ひび割れ幅 0~1mm を劣化度 d とした。次に、劣化度 b と a の境界は、耐力低下が概ね半分になる初期ひび割れ幅 7mm とした。劣化度 c と b の境界は、劣化度 a と d の規準の概ね中央である、初期ひび割れ幅 4mm とした。以上より、本研究で提案する劣化度判定規準を表-4にまとめる。

5. まとめ

本研究では、以下の知見を得ることができた。

- 1) 防波堤胸壁において、ひび割れ幅をパラメータとした非線形有限要素解析を行った結果、ひび割れ幅と耐力低下の関係性を定量化できた。
- 2) 解析結果より、無筋コンクリート構造物を対象に、初期ひび割れ幅を指標とした、劣化度と力学性能低下の定量的根拠に基づく劣化度判定規準を提案した。

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縮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) JIPテクノサイエンス株式会社: DIANA9 ユーザーマニュアル日本語参考資料 (材料ライブラリー), 2005
- 3) 水産庁漁港漁場整備部: 機能保全計画策定の手引き (案), 2009

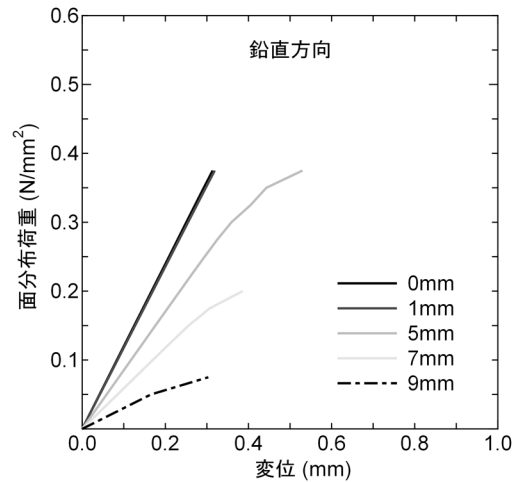


図-6 Z方向荷重・変位図

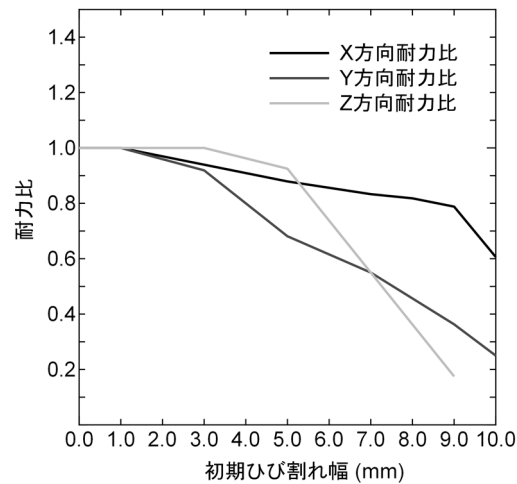


図-7 初期ひび割れ幅と耐力比の関係

表-3 現状の劣化度判定規準<sup>3)</sup>

判定	評価基準
a	性能に及ぼす程度の欠損がある
b	幅1cm以上のひび割れ幅がある
c	幅1cm未満のひび割れがある
d	変状なし

表-4 提案する劣化度判定規準

判定	評価基準
a	貫通した可能性のあるひび割れが生じている。 ひび割れ幅が7mm以上
b	ひび割れ幅が4mm以上7mm未満
c	ひび割れ幅が1mm以上4mm未満
d	ひび割れ幅が1mm未満