

第69回(2025年度) 北海道開発技術研究発表会論文

ウトロ漁港ケーソン仮置時におけるひび割れ発生の原因と対策について

網走開発建設部 網走港湾事務所 第2工務課

○小岩 航大

佐々木 智之

清水 敏明

日本データーサービス株式会社

ウトロ漁港南防波堤の本体となるケーソンは、当該漁港港内が狭隘のため近隣の能取漁港にてケーソン製作用台船方式により製作し、網走港に仮置後、翌年度にウトロ漁港に回航し据付けるものとしていた。しかしながら、網走港港内に仮置きし越冬したところ、ケーソンに多数のひび割れが確認された。本報では、温度応力解析等によるひび割れの発生要因の整理、再発防止策の検討を行い、ひびわれ対策を実施した結果について報告するものである。

キーワード：ひび割れ、温度応力解析

1. はじめに

ウトロ漁港は北海道東部のオホーツク海に面した知床半島西側に位置しており、ウトロ地区と知床岬地区の二つの地区から成る第4種漁港である。(図-1)

沿岸漁業の中核基地となっており、特にサケ・マスの定置網漁業は北海道有数の陸揚量を誇っている。また、ウトロ地区は知床国立公園のオホーツク海側の玄関口に位置していることから、観光船や小型のクルーズ船が数多く発着しており、観光拠点としても重要な役割を担っている。

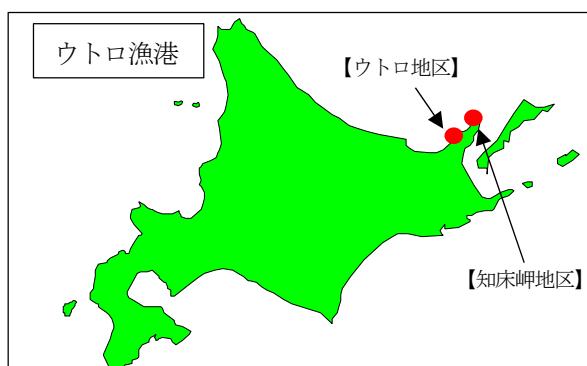


図-1 ウトロ漁港の位置

2. 事業内容

ウトロ漁港においては、近年の漁船大型化に伴う、漁船保管施設用地の不足やサケ・マス定置網漁における網補修作業に必要な用地の不足、更には幹線道路が災害等により陸路が遮断された場合の救援物資、傷病者、医師、

避難者等の緊急輸送基地の役割は果たすべく、これらの課題に対応した新規埠頭の整備を行っている。(図-2)



図-2 整備位置図

3. 工事内容

新しい埠頭の整備に伴い、利用に必要な静穏度を確保するため、南防波堤の整備を実施している。

南防波堤は区間によって、ケーソン式混成堤、ブロック式混成堤、傾斜堤からなっており、現在はケーソン式混成堤部を施工中である。ケーソン製作はフローティングドック（以降 F D）上で行うが、ウトロ漁港は港口が狭いことや FD を係留する岸壁の確保が困難であることから、比較的近隣で製作可能なスペースを有する能取漁港二見ヶ岡地区で製作した後、必要に応じて網走港に仮置、ウトロ漁港へ回航・据付を行っている。各港の位置関係を図-3に示す。

令和3年にケーソン4函を製作し、同年2函据付、翌年に残り2函の据付、令和6年に4函製作、同年1函据付、翌年の令和7年に3函の据付を行った。(図-4)



図-3 能取漁港・網走港・ウトロ漁港位置図

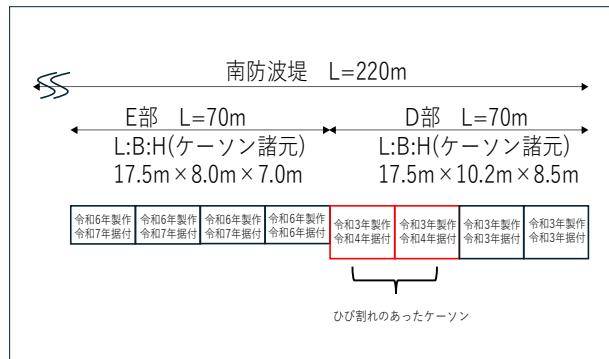


図-4 南防波堤平面図

4. ひび割れの発生について

令和4年6月、前年度製作し網走港内に仮置きしたケーソン2函について、ひび割れが発生していることが確認された。ひび割れ幅は0.1mm～0.4mm程度で2函とも、ほぼ同様に隔壁と側壁の交差部、隔壁と隔壁の交差部それぞれのハンチ直近位置に集中し、ケーソン全体に発生していた。壁の縦方向のひび割れ発生箇所は、天端のひび割れと連続しており、ひび割れ長さは概ね天端から1m程度下（仮置状態におけるM. S. L. の位置）であった。

ひび割れ位置を図-5、図-6、状況を写真-1、写真-2に示す。

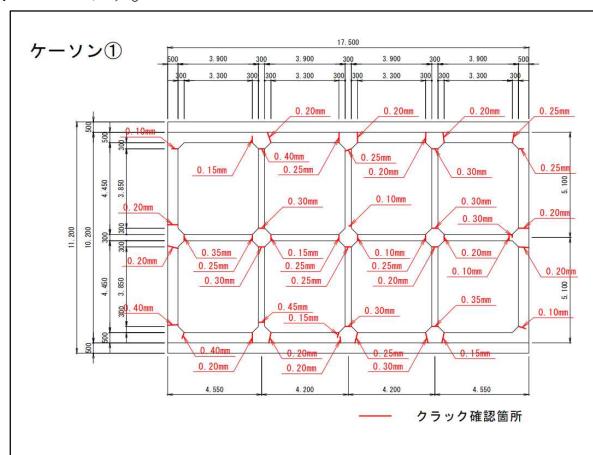


図-5 ひび割れ位置ケーソン1函目

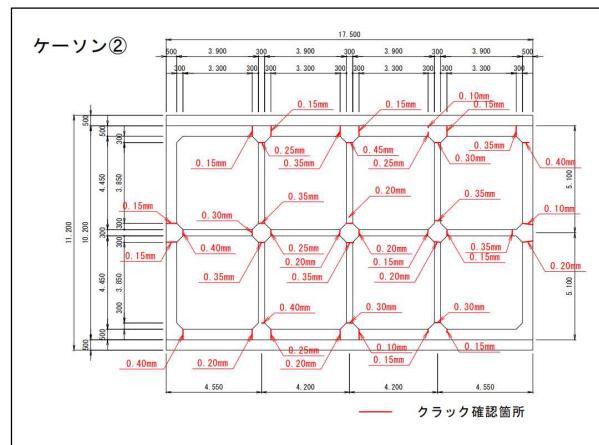


図-6 ひび割れ位置ケーソン2函目

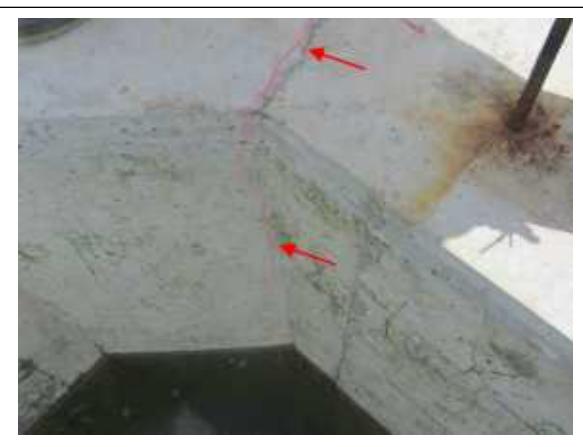


写真-1 ハンチ直近部のひび割れ



写真-2 縦方向のひび割れ

5. ひび割れ発生要因

一般的に、コンクリートにひび割れが発生する原因として、以下のものが挙げられる。これらの原因と今回のひび割れ発生の因果関係について検証を行った。

1) 材料によるもの

- ・セメントの異常凝結
- ・セメントの水和熱
- ・低品質な骨材の使用

- ・反応性骨材(アルカリ骨材反応)の使用
- ・コンクリート中の塩化物
- ・コンクリートの沈下・ブリージング
- ・コンクリートの収縮(乾燥収縮・自己収縮)

2) 施工によるもの

- ・長時間の練り混ぜによる材料分離
- ・不適当な打ち込み
- ・不適当な締め固め
- ・硬化前の振動や載荷
- ・初期養生中の急激な乾燥
- ・初期凍害
- ・型枠からの漏水や早期撤去
- ・不適当な打ち継ぎ

3) 使用環境によるもの

- ・温度、湿度の変化
- ・凍結融解の繰り返し
- ・酸、塩類の化学作用
- ・中性化による内部鋼材の腐食

4) 構造・外力によるもの

- ・長期的、短期的な荷重
- ・鉄筋量不足

材料の影響については、不適切な材料の使用やコンクリートが固化する過程で生じる反応によるものであるが、材料は所定の試験に合格していることを確認していた。このことから、不適切な材料が原因となるものは無かつたと思われるが、水和反応や乾燥による収縮が影響した可能性は考えられる。

施工の影響については、コンクリートの受入時検査や施工状況の確認、養生状況の確認、型枠脱枠時期、打継処理の確認で問題無いことを確認しており、これらが原因となっている可能性は低いと考えられる。

環境の影響については、スケーリングや酸による浸食を受けた痕跡がないことから、凍結融解作用及び化学的な作用が原因となったものでは無いと考えられる。温度変化については、外気に触れる水面上と水中部分とで温度差があることによる拘束ひび割れが発生した可能性が考えられる。

外力の影響については、長期的な荷重がかかることは無かったが、荒天時の波浪による波力や隔室内の結氷による膨張力の影響を受けることもあったため、可能性としては考えられる。

これらのことから、考えられる要因としては「水和反応や乾燥による収縮」、「水上部と水中部での温度差による拘束ひび割れ」、「波浪や隔室の結氷による外力」のいずれか又は複合であったと推測される。

6. 温度応力解析による検証

今回のひび割れの発生原因是、縦方向に仮置き状態のM. L. S付近まで発生していることに着目し「水上部と水中部での温度差による拘束ひび割れ」の可能性が高

いと推測し、その仮定を数値計算による温度応力解析手法を用いて、検証を行うものとした。

(1) 拘束ひび割れ発生のメカニズム

コンクリートが均一に膨張や収縮する場合には、ひび割れは発生するがなく、ひび割れが発生するのは、膨張や収縮する際に、膨張や収縮しない又はしにくいものに拘束されている場合である。

すなわち、膨張したくとも膨張出来ないとき、収縮したくとも収縮できないときにひび割れは発生する。拘束によるひび割れには、内部拘束によるひび割れと外部拘束によるひび割れがある。

今回のケーソンに発生したひび割れが、拘束によるひび割れと仮定すると、ケーソンは薄い部材から構成される構造のため、マスコンクリートのような内部拘束によるひび割れの発生は考えにくく、外部拘束によるひび割れが対象になる。ケーソンは既設構造の上に製作されたものではないため、拘束されるような外部構造はない。

図-7に示すように厳冬期などの仮置き時においては、特に水上の温度と水中の温度が違うため、収縮量の差が生じ、比較的温度の高い水中部が温度の低い水上部の収縮を拘束させたと推測する。

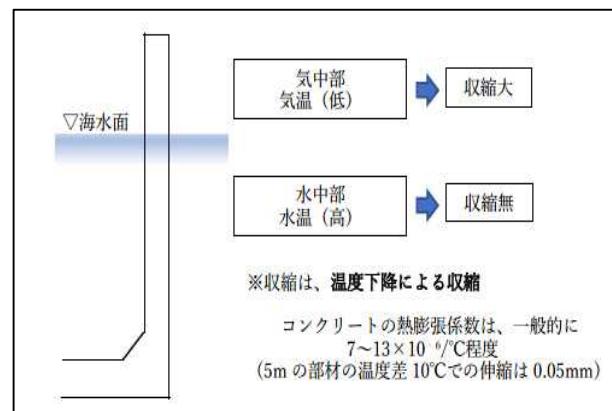


図-7 拘束条件

(2) 使用ソフトと解析条件

1) 使用ソフト

解析には、コンクリートの3次元温度応力解析専用プログラム「ASTEAMACS」を使用した。このソフトは、コンクリートの温度応力検討専用に開発されたシステムで、土木学会標準示方書・建築学会マスコン指針に準拠している。

コンクリート打設に伴う境界条件の変化や水和発熱・養生条件などを考慮した3次元非定常熱伝導計算と強度発現を伴う温度応力計算を一貫して行うことができるものである。

2) 解析ケース

以下の2ケースを対象とした。

Case 1：ひび割れが発生した当該ケーソン

Case 2：当該ケーソンよりも壁高が2.2m高いケーソン

Case 2は、網走港で過去に、同じ場所で水中仮置きされていた網走港で使用したケーソンをイメージし

たものである。このケーソンは、当該ケーソンより水面上の高さが2.2m高い状態であり、ひび割れは発生しなかったものである。

3) 解析条件 解析モデル

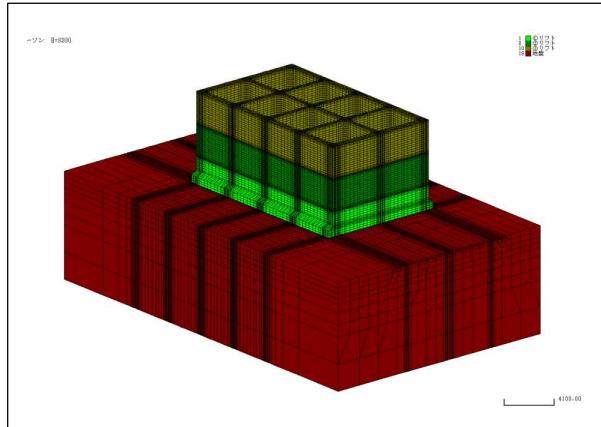


図-8 ケーソンモデル (Case 1)

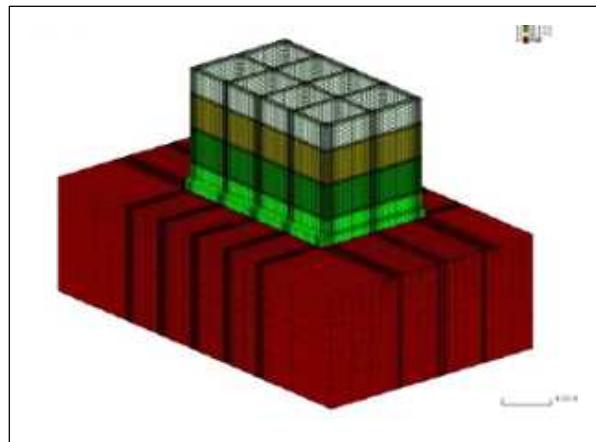


図-9 ケーソンモデル (Case 2)

7. 解析結果

温度条件は厳寒期である2月期の仮置き状態を想定したもので、海水温0°C、外気温を-6.0°Cとしたものである。ケーソン軸体の温度は、Case 1を図-10、Case 2を図-11に示すとおり、水面上と外気温と海水温と同じであった。

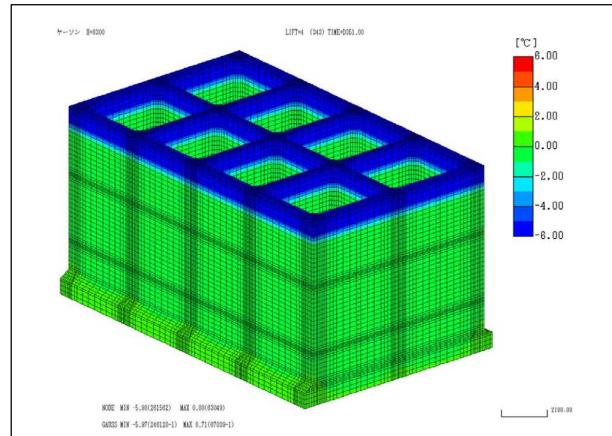


図10 ケーソン温度分布 (Case 1)

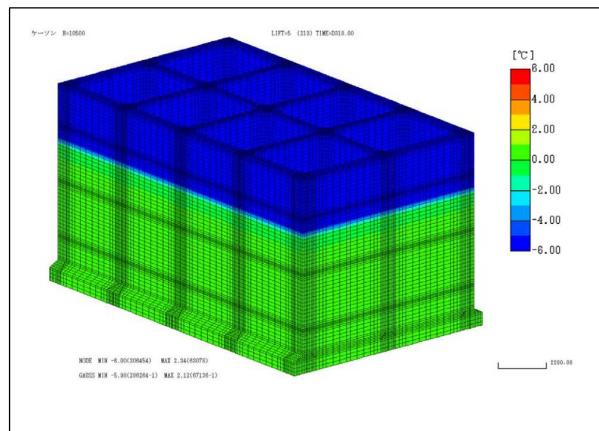


図-11 ケーソン温度分布 (Case 2)

これらの温度分布の状態時における部材に係る応力を示したものが、図-12、13である。

今回ひび割れが生じたCase 1では、海水平面から上の隔壁と側壁及び隔壁と隔壁の交差部の間に、最大3.7N/mm²の引張応力が発生しており、ひび割れが生じた箇所との関係性を確認することができた。これに対しCase 2では1.0N/mm²を超える引張応力は発生していなかった。

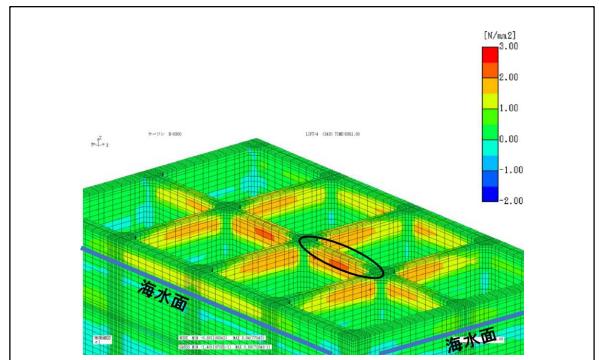


図-12 ケーソン引張応力分布 (Case 1)

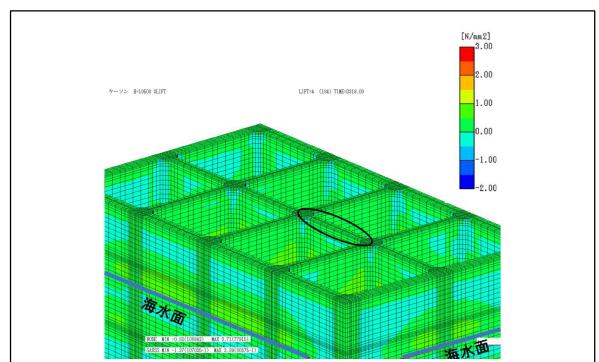


図-13 ケーソン引張応力分布 (Case 2)

8. 対策の実施及び結果

解析結果により、収縮量の小さい水中部が収縮量の大きい水上部の収縮を拘束することで応力が生じ、ひび割れの要因となったことが確認された。一方で、同じ水中仮置きでも、水面から突出している部分が大きいものについてでは、発生する応力が小さい結果であり、これは收

縮が拘束される面積が広いことで、拘束される応力が分散されたと考える。

このことから、仮置き時における水上部分の面積を広くすることで拘束応力によるひび割れが抑制が出来ると考え、対策として仮置きマウンドの天端を高くするものとした。仮置きマウンドは新設ケーソンの喫水4.534mに均し精度0.3mを考慮した水深-4.853m=-4.9mを仮置きマウンド天端とし、水面上からケーソン天端までの高さを1.4m確保することとした。

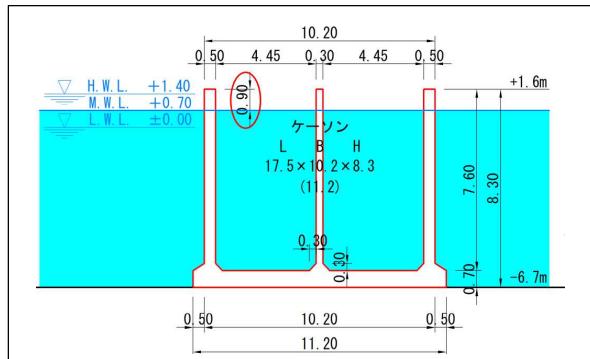


図-14 マウンド天端高さ変更前

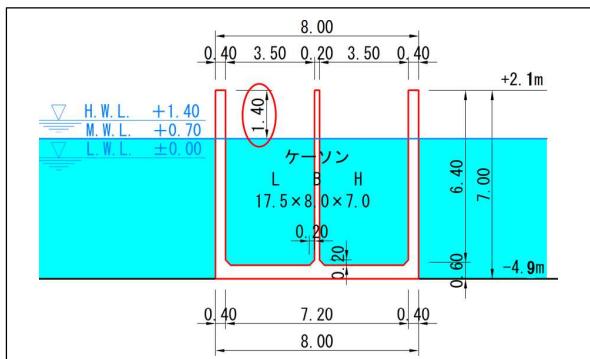


図-15 マウンド天端高さ変更後

製作したケーソンは、令和6年7月に網走港内に仮置きし、令和7年7月にウトロ漁港へ回航し据付を行った。

解析では考慮されない風の影響によって、水上部のコ

ンクリート温度の低下が無いか確認するため、ケーソンの隔壁、側壁の表層部及び外気温を計測していたが、仮置き期間中の厳寒期においては、ほぼ外気温と同じであり、最低外気温-11.8°C、隔壁表面-10.8°C、側壁表面-9.8°Cを記録していたことから、温度応力解析上のひび割れ発生条件下にあった。

なお、仮置きしたケーソンに大きなひび割れが確認された令和4年2月期の平均海水温は0°C、平均外気温は-7.6°C、ひび割れが小さかった令和7年2月期の平均海水温は0°C、平均外気温-5.7°Cとなっており、気象条件にあまり差がなく、ひび割れが減少した要因として、今回の対策が有効であったと推測される。

6月に確認したところ、3函とも同様にハンチ付近にひび割れはあったが、表面のみで幅も最大で0.08mm程度の軽微な補修の必要が無いものであった。

9.まとめ

本報において、水中仮置きしたケーソンに発生したコンクリートのひび割れについて、発生原因を考察し、仮置きマウンドの高さを変えるなどの対策を講じることで、ひび割れの抑制に対して一定の効果があったと考える。

ケーソンの仮置きについては、視認性の面で水上の突出部分を多くすることはあったが、ひび割れの観点で考慮しておらず、今回突出部分を多くすることで、ひび割れを抑制することができた。しかしながら、波浪などの外力を受けやすい場所では、別の要因で問題が発生することも考えられるため、ケーソンの仮置き場には十分な検討が必要である。

謝辞：本検討を進めるに当たり、ご協力いただいた、寒地土木研究所のみなさまに心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1)令和4年度 ウトロ漁港基本設計業務報告書
- 2)コンクリートのひびわれ調査、補修、補強指針 2022
日本コンクリート工学協会