

# 転用ケーソンの健全度評価と再利用における考察

草野 実<sup>1</sup>・渡邊 健太<sup>1</sup>・久保 慧<sup>2</sup>

<sup>1</sup>伏木富山港湾事務所 富山分室 (〒931-8378 富山県富山市岩瀬天神町247-8)

<sup>2</sup>伏木富山港湾事務所 保全課 (〒930-0856 富山県富山市牛島新町11-3)

伏木富山港（富山地区）では、老朽化が進んだ2号岸壁の改良に現在着手しており、矢板式の岸壁をケーソン式の耐震強化岸壁へ改良する事業を行っている。岸壁改良に用いるケーソンは、新造する他、過去に防波堤として使用されていたケーソンを転用する。

本報告では、施工後約30年が経過したケーソンを岸壁に転用する際の健全度評価について報告する。また、転用による建設コストとコンクリート使用量の縮減効果についても併せて報告する。

キーワード 維持管理、コスト縮減、ケーソン転用、健全度評価、ライフサイクルコスト

## 1. はじめに

神通川下流に位置する伏木富山港（富山地区）では、老朽化が進行した岸壁の改良を順次進めており、1～3号岸壁(-10m)のうち、1号及び3号岸壁の改良整備が完了している（図-1）。現在、矢板式である2号岸壁の腐食が進んだことから、老朽化対策にあわせ耐震強化岸壁としてケーソン式構造へ改良する事業を2014年より推進している。



図-1 富山地区 岸壁(-10m)(2号)(改良)

また、当該事業の経済性を図るために、防波堤として供用されていたケーソンを一部転用することとしている。

加えて、昨今の公共事業においても、持続可能な社会の実現のため、廃棄物並びに二酸化炭素排出量の削減が求められている中で、再生資材の使用はこれらの取組に

資するものである。

本稿では、このケーソン転用における健全度評価について報告し、転用による建設コストおよびコンクリート使用量の縮減効果についても考察した。

## 2. 転用ケーソンの概要

### (1) 転用するケーソンの来歴

転用するケーソンは、伏木富山港（伏木地区）の東防波堤として設置されていたスリットケーソン標準函3函である。東防波堤は1990年から施工を開始し、1994年に竣工して供用された（図-2）。



図-2 伏木地区 東防波堤ケーソン撤去前 (L=150m)

その後、伏木外港の泊地拡幅事業（2005年3月港湾計画一部変更）に伴い、泊地法線に東防波堤が抵触するた

め、先端側の一部 ( $L=15m$ ／函、堤頭函を除く3函分45m) が撤去された。2014年の撤去後は伏木富山港（新湊地区）の作業基地（富山県射水市堀岡新明神字西浜地先）に曳航され、現在に至るまで水中仮置きされており、転用するケーソンは2023年時点では建造から約30年が経過している（図-3）。

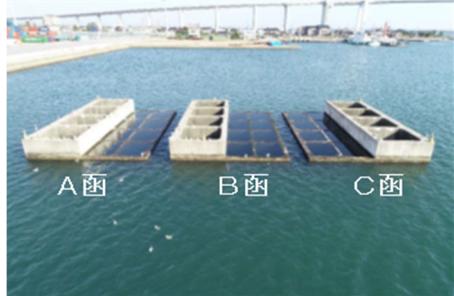


図-3 新湊地区 水中仮置き中の転用ケーソン3函

## （2）転用ケーソンの安定性照査

防波堤として用いられていたケーソンを岸壁に転用できるか設計検討を行った。富山地区の環境（水深10.1m：図-4）での永続状態及び変動状態（レベル1地震動）について安定性照査（滑動、転倒、支持力）を実施し、基準を十分に満足することを確認した（表-1）。

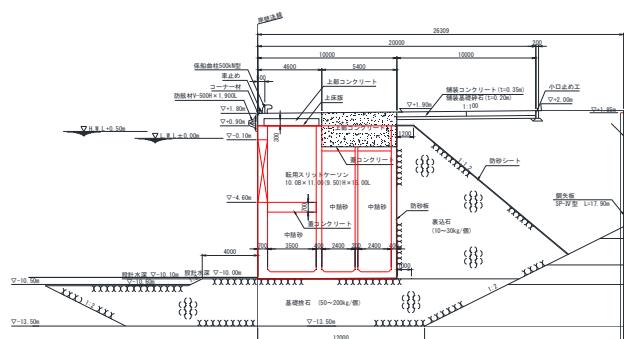


図-4 転用ケーソンの標準断面図

表-1 安定性照査結果<sup>2)</sup>

検討状態	永続状態		変動状態 (レベル1地震動) ※	
	無	有	無	有
上載荷重				
滑動	1.46>1.0	—	1.39>1.0	—
転倒	4.26>1.0	—	2.43>1.0	—
支持力	1.721>1.0	1.735>1.0	1.003>1.0	1.037>1.0
備考	ケーソン諸元：B 10.0m × H 11.0m × L 15.0m 遊水室幅が狭く十分な反射率低減は見込めないことから、入射角が小さい港口側(1号岸壁側)に据付			

※照査用震度  $K_{hk}=0.11$

## 3. 劣化の確認・健全度調査

### （1）調査の目的

転用ケーソンは建造後から約30年が経過しているため、劣化による強度不足などが生じていないか確かめる必要がある。富山地区への曳航並びに転用後の新たな供用期間（50年間）に耐えうる耐久性を保持しているかを確認するため、2022年度に転用函の健全度調査を実施した。

### （2）調査内容

調査は、目視調査、潜水目視調査及びコンクリートコア採取による室内3試験（圧縮強度、中性化、塩分含有量）とした。目視調査では隔室内壁も点検対象とし、一般的な変状確認のほか、富山地区への曳航・据付時に必要となる付着物除却に備えるため、潜水目視調査では壁面付着物の状況（種類、付着量）も記録した（表-2）。

表-2 調査内容

調査項目	調査数量	備考
目視調査	622.8 m <sup>2</sup>	M.L.W.L.以浅
潜水目視調査	4,902.6 m <sup>2</sup>	M.L.W.L.以深
コンクリートコア採取	9本(3本／函)	$\Phi 75mm$ , $L=150mm$ 油圧コアドリル使用
室内試験	圧縮強度試験 中性化試験 塩分含有量試験	JIS A 1107 JIS A 1152 JIS A 1154

コンクリートコアの採取に先立ち、対象函の既往環境から転用後における設置水深を整理したところ、既往環境での水深が最も浅く、転用後の水深が最も深いことが分かった（表-3）。このため、転用後のスリット部（底上4.6~10.1m）は常時没水状態となり、気中に露出する部分は上部から1m程度と今までよりも更に少なくなる。

表-3 対象ケーソンの設置水深

設置場所	設置水深	H.W.L.	L.W.L.
伏木地区東防波堤 (既往利用：1990年~2013年)	8.5m		
新湊地区仮置場所 (仮置：2014年~2024年)	9.0m	+0.50m	±0.00m
富山地区2号岸壁 (転用：2025年~)	10.1m		

一般に、コンクリートの劣化は飛沫帶（H.W.L.より上）で最も進行しやすく、次いで干満帶（L.W.L.~H.W.L.），海中の順とされている<sup>1)</sup>。このことより、コンクリートコアの採取は、今までの利用環境において劣化が進行しやすかったと想定される位置を基本とし、比較地点として常時没水環境である1地点を設定した。採取数は各函3

本でしたが、各函の設置間隔が狭く、B函ではスリット面での採取が仮置き配置の関係上不可能であったため、それぞれ採取可能な位置で行った。結果、3函合わせて消波柱から4本、側壁から5本を採取した（図-5、6、表-4）。

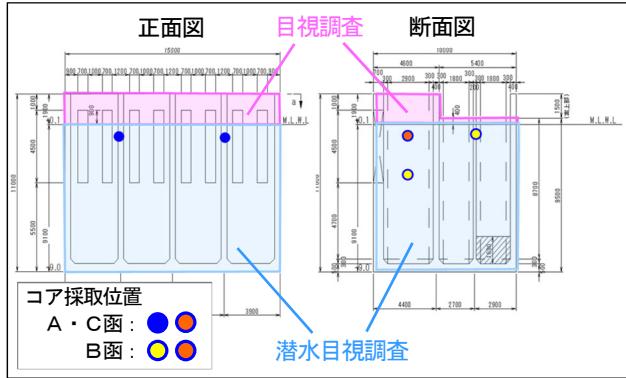


図-5 目視点検調査区分とコンクリートコア採取箇所



図-6 コア採取 (左: 水中鉄筋探査, 右: スリット部採取)

表4 コンクリートコア採取位置

コンクリートコア採取箇所		採取箇所の高さ
A箇	A-1	短手側壁 底上8.40m(天端から-2.60m)
	A-2	スリット部 底上9.00m(天端から-2.00m)
	A-3	スリット部 底上9.30m(天端から-1.70m)
B箇	B-1	短手側壁 底上8.65m(天端から-2.35m)
	B-2	短手側壁 底上5.70m(天端から-5.30m)
	B-3	短手側壁** 底上8.30m(天端から-1.20m)
C箇	C-1	短手側壁 底上8.40m(天端から-2.60m)
	C-2	スリット部 底上9.05m(天端から-1.95m)
	C-3	スリット部 底上8.70m(天端から-2.30m)

※B-3地点の天端高さは9.5m（低天端部：嵩上げ未実施部）

### (3) 目視点検による点検診断結果

### a) 目視点検

3函とも極めて小規模な損傷、欠損及び剥離は複数あるものの、スリット部を含め鉄筋露出等の特筆すべき変状はみられなかった。ただし、C函ではスリット部で一部錆汁がみられたが、周辺コンクリートの剥離や膨張はなく、進行の予兆はうかがえなかった。

### b) 潛水目視点検

水中部ではケソン外壁で軽微な欠損がA函とB函で1箇所ずつ確認された以外は、隔室内も含め変状は認めら

れなかった(図-7)。なお、付着物未除去の状態で点検したため、付着物が顕著な範囲は調査の対象外とした。底上2~3mの範囲を除き外壁への付着量は多く、鉛直的な付着分布をみると、ML.WL.-1m程度まではフジツボ類、-7m程度まではイワガキが群生しており、イワガキの付着厚は最大で20cm程度と厚かった。一方、遊水室を除く隔壁内壁には付着物はほとんどみられなかった。



図-7 外壁の欠損 (左: A函, 右: B函)

### c) 施設の性能低下度の評価

目視点検の結論として、確認できた範囲については補修が必要な変状は認められず、3箇とも性能低下度はD（性能が十分に保持されている状態）と評価した。

#### (4) コンクリートコアの分析結果

### a) 圧縮強度試験

JIS A 1107（コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法）に則り、図-8のように圧縮強度試験を行った。結果は表-5の通り  $42.1 \sim 59.0 \text{ N/mm}^2$  であり、全てのコアで設計基準強度 ( $24 \text{ N/mm}^2$ ) を上回り、3箇所ともコンクリートの強度は十分と言える。また、採取箇所による違いやケーソン毎の傾向も認められなかった。



図-8 圧縮強度測定状況

表-5 圧縮強度試驗結果

コンクリートコア採取箇所		圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
A函	A-1	短手側壁	<b>42.1</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	A-2	スリット部	<b>46.1</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	A-3	スリット部	<b>49.2</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
B函	B-1	短手側壁	<b>54.8</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	B-2	短手側壁	<b>57.7</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	B-3	短手側壁	<b>46.9</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
C函	C-1	短手側壁	<b>59.0</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	C-2	スリット部	<b>45.7</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK
	C-3	スリット部	<b>54.9</b> >24 N/mm <sup>2</sup> : OK

### b) 中性化試験

JIS A 1152 (コンクリートの中性化深さの測定方法) に則り、図-9のように中性化試験を行った。中性化深さの結果は表-6のようになり、いずれのコアとも僅か数mmで中性化はほとんど生じておらず、採取箇所による違いやケーンソーン毎の傾向も認められなかった。かぶり厚さから中性化深さを除いた、中性化していない延長が30mmを下回ってみると鉄筋の腐食が懸念され<sup>2)</sup>、対象函のかぶり厚さ (100mm) では中性化深さが70mmを超過する場合にあたる。このことから、本結果から中性化による腐食は生じていないと考えられる。

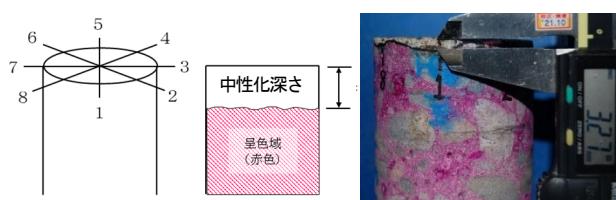


図-9 中性化測定 (左: 方法, 右: 測定状況)

表-6 中性化試験結果

コンクリートコア採取箇所	中性化深さ (mm)			
	平均*	最大	最小	
A函	A-1 短手側壁	0.8	2.0	0.0
	A-2 スリット部	0.3	1.3	0.0
	A-3 スリット部	1.6	2.9	0.8
B函	B-1 短手側壁	2.2	3.3	0.6
	B-2 短手側壁	0.2	1.6	0.0
	B-3 短手側壁	0.5	1.6	0.0
C函	C-1 短手側壁	0.8	2.3	0.0
	C-2 スリット部	1.3	3.0	0.0
	C-3 スリット部	0.2	1.0	0.0

\*側面8ヶ所の測定結果の平均値

### c) 塩分含有量試験

JIS A 1154 (硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法) に則り、図-10のように試験を行った。結果は表-7のようになり、表面からの深さと塩分含有量の関係をグラフ (図-11) にまとめた。塩化物含有量は全体的に多い傾向にあり、かぶり厚さ (表面から100mm) の位置においても9コア中6コアで鉄筋の腐食発生限界塩化物量 ( $2.0\text{kg/m}^3$ )<sup>3)</sup> を超過した。最大値は側壁表面で出現しており (B-3 :  $25.16\text{kg/m}^3$ )、3函とも相対的にスリット部よりも側壁で塩化物含有量が多い傾向がうかがえた。

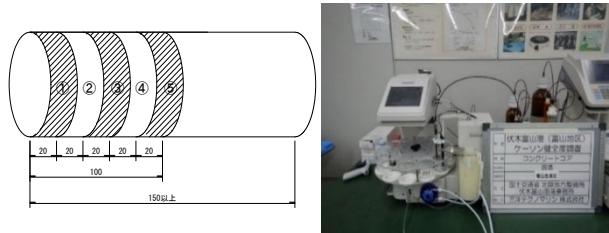


図-10 塩分含有量試験 (左: 切断位置図, 右: 測定状況)

表-7 塩分含有量試験結果

単位:  $\text{kg/m}^3$

コンクリートコア採取箇所	表面からの距離 (mm)					
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	
A函	A-1 短手側壁	15.07	13.67	10.18	8.59	5.90
	A-2 スリット部	10.74	6.83	5.87	4.19	2.35
	A-3 スリット部	10.01	6.35	5.19	4.09	1.36
B函	B-1 短手側壁	13.34	15.91	13.95	10.74	7.63
	B-2 短手側壁	20.17	12.82	9.50	6.06	3.07
	B-3 短手側壁	25.16	16.74	13.43	9.22	6.51
C函	C-1 短手側壁	19.35	15.91	14.46	10.20	8.42
	C-2 スリット部	12.90	9.71	6.26	4.12	1.83
	C-3 スリット部	15.71	12.32	8.26	4.85	1.95

※網掛けは、鉄筋の腐食発生限界塩化物量超過値 ( $>2.0\text{kg/m}^3$ ) を示す

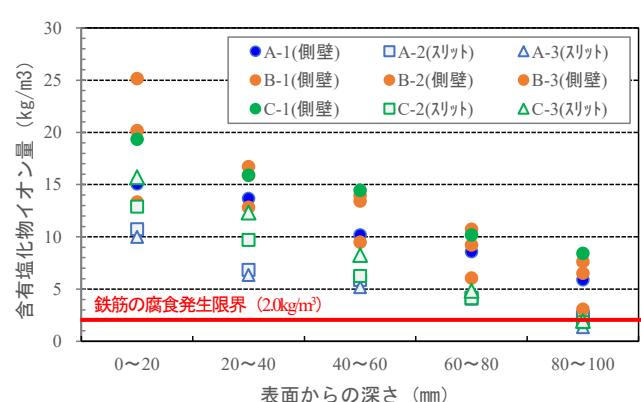


図-11 塩分含有量試験結果

### d) 施設の性能低下度の評価

室内試験の結果から、3函ともコンクリートは十分な強度を保持しており、中性化による鉄筋腐食は構造上影響を及ぼしていないことが分かった。ただし、塩害による鉄筋腐食は生じてもおかしくない塩分含有量を有していた。

### (5) 健全度評価

#### a) 塩害による鉄筋腐食について

高い塩分含有量であったコア採取位置での目視点検は周囲1m<sup>2</sup>の付着物を除却して壁面を直接確認しているが、腐食の予兆や腐食に伴うひび割れ、錆汁及び剥離などの変状は確認されなかった。同様な事例が、70年以上が経

過したRCケーソンの耐久性を検討した論文<sup>4</sup>や小名浜港の事例<sup>5</sup>においても報告されており、塩分含有量が鉄筋の腐食発生限界を大幅に超過していても海中では酸素の供給が少ないとから腐食の進行が極めて遅くなるため、鉄筋腐食が生じていなかったと結論づけている。

転用後はさらに水深が増し、転用の上部1m前後を除き没水環境となることから、鉄筋の不動態被膜（鉄の酸化被膜）は消滅していても鉄筋腐食の進行は極めて遅く、塩害のリスクは低いと言える。

#### b) 対象函の転用可否について

目視点検及び室内分析の結果から、塩分含有量は高いものの現時点でのケーソンは健全であり、転用先においても鉄筋腐食が発生・進行する恐れは低いと考えられるため、転用は可能であると判断した。

### 4. 転用による各種縮減効果

#### (1) 建設コストの縮減

ケーソン3函を新造する場合と転用函を使用する場合の建設コストを比較した（表-8）。なお、富山地区への曳航費など、双方で必要な費用は計上していない。

この結果、新造に掛かる費用は転用函の処分を含め直接工事費で17,700万円であるのに対し、転用に掛かる費用は事前調査と施工費用（据付先での水深に不足する部分の嵩上げ）の1,600万円のみであり、ケーソンの転用は16,100万円の建設コスト縮減に繋がった。費用率でみると、転用に掛かる費用は新造時の1割未満である。

今回の転用函は補修を必要とする損傷がなく、補修費用が不要であったことも経済性に優れた一因ではあるが、ケーソン製作費用が極めて高額となるため、転用は単函であっても経済性に優れ、転用できる転用函数が多いほどコスト縮減に繋がることが分かる。

表-8 費用効果検討項目（3函分）

項目		費用（直接工事費）
新造	①新函の製作	14,700万円
	②転用函の処分	3,000万円
転用	①健全度調査の実施	1,100万円
	②施工水深不足部の嵩上げ <sup>※</sup>	500万円
	③補修（損傷がある場合）	本函は不要
縮減費用（新造時-転用時）		16,100万円
費用率（転用／新造）		9.0%

※転用函遊室背後の隔室は天端高さが9.5mで施工水深（据付高さ）に不足するため、曳航前に嵩上げを行う。

#### (2) コンクリートの削減量

富山地区岸壁(2号)の新造函と転用函に使用されるコンクリート量を比較した（表-9）。新造時に必要な転用函

のコンクリート打設量は1,146m<sup>3</sup>であるのに対し、転用函であれば施工水深に満たない天端高の嵩上げ打設量49m<sup>3</sup>のみで済む。また、転用函の廃棄を回避できるため、1,416m<sup>3</sup>の建設廃棄物を削減することができる。

なお、低炭素型コンクリートの開発も進んでいるが、現在も港湾で使われる従来型のコンクリートは製造過程で二酸化炭素を大量排出するセメントが主成分であるため、コンクリートの使用量を削減することは、建設工事現場における二酸化炭素排出量の抑制にも貢献している。

表-9 コンクリート量（3函分）

項目	コンクリート量
新造	新函の製作
転用	施工水深不足部の嵩上げ <sup>※</sup>
新造	転用函の処分

※転用函の遊水室背後の隔室は天端高さが9.5mで施工水深（据付高さ）に不足するため、曳航前に嵩上げを行う。

### 5. 考察

#### (1) 長寿命化の必要性

今後、高度経済成長期に集中的に整備された港湾施設が順次更新時期を迎える。公共岸壁を例にみると、一般的な設計供用期間である50年を超過した施設は、2020年代は全体の2割であるのに対し、2040年代には7割に急増する<sup>6</sup>。膨大な数の港湾施設が更新時期を目前に控えた現在において、限りある財源と資源の中で、出来得る限りの長寿命化によるライフサイクルコストの低減と効率的な施設整備の推進は、北陸管内の港湾にとっても喫緊の課題である。

今後新設する構造物についても予めの長寿命化方策は必須であるとともに、予防保全型の維持管理によって構造物を「良い状態に保ちながら利用する」ことが肝要である。そうすることで、施設再編の必要が生じた際に、構造物の再利用を検討することができ、建設廃棄物の削減と再利用による無駄のない循環サイクルを構築することができる。

#### (2) 健全度調査により得られた知見

今回対象となった転用函の調査結果より、精度良く施工された高品質のコンクリート構造物は、一般的な設計供用年数の超過後も十分に利用できる可能性が高いことが分かった。特に設計供用年数に満たない段階でやむを得ず不要となるケーソンが発生した場合は、将来的な転用を見据えて仮置き保管することで、ストックの有効活用に加え、ライフサイクルコストの正常化が見込める。なお、ケーソンの保管環境については、塩害が進行しないよう酸素供給を減らすことを目的に、没水環境で仮置きすることが望まれる。

また、桟橋床版や橋梁におけるコンクリートコアの採取と室内試験は数多く実施されているが、経年スリットケーソンにおけるスリット部や側壁におけるコンクリートコアの採取と室内試験の実施は全国的にも事例が少なく、貴重な調査結果を得たと言える。特に塩分含有量の結果は他港における劣化判断や、各種検討時の有効な参考資料として活用可能と思われる。

### (3) 転用における留意点

今回対象となった転用函は、一般的には常に大きな波力にさらされることで損傷が生じやすいスリット部が極めて健全であったことが転用に有利であった。また、転用後の設置水深が既往及び現在の設置水深より深くなることも、塩害の進行要因を排除する観点から好条件であった。

転用においては、構造上重要な部材の劣化状況と補修可否について、事前に詳細に確認し検討する必要がある。また、塩分含有量が多い躯体については、転用後の水深が既往水深より浅くなる場合には塩害が急激に進行する可能性があるため、特に慎重な判断を要することに留意する。

なお、転用後はこまめな日常点検と定期的な一般点検を漏れなく実施することで、変状発生時の早期発見を心掛ける必要がある。

### 参考文献

- 1) 山路徹, 審良善和, 濱田秀則, 山田一夫. 「海洋環境におけるコンクリートの劣化性状および劣化指標に関する検討」, 土木学会論文集 E, Vol.66, No.1, 21-37, 2010.2
- 2) (独)土木研究所, 日本構造物診断技術協会編著. 「健全度診断マニュアル」, 技報堂出版, 2010
- 3) (公社)日本港湾協会. 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)」, p600, 日本港湾協会, 2018
- 4) 守分敦郎, 伊坂健二, 福手勤, 羽渕貴士. 「70年以上経過した鉄筋コンクリート構造物の干満帶および海中部における耐久性」, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19 No.1, 1997
- 5) 大友正悦, 阿部寛. 「既設防波堤ケーソンの転用によるコスト縮減の取り組みについて」, 平成22年度技術発表会, 小名浜港湾事務所
- 6) 国土交通省港湾局技術企画課. 「国土交通省における港湾施設の維持管理の取組について」, 港湾施設の維持管理実務技術者講習会資料, 2022.11.25