

既設改良に着目した海岸護岸における設計・施工の ケーススタディーから導かれた留意点

Key points derived from the case studies on the design and construction of the coastal protection structures focusing on improvement works

内藤 了二*・鮫島 和範**

Ryoji NAITO and Kazunori SAMESHIMA

要旨：既設護岸の改良は、既設構造物の活用、取壊し復旧等に配慮した改良計画が必要である。護岸改良は、護岸前面の海域及び、背後の陸域に制約条件があることが多い。本研究では、護岸構造物の既設改良に着目したケーススタディーを実施した。ケーススタディーは、①制約条件、②性能照査、③設計断面の設定、④施工検討の各段階での条件や考え方を設定した。検討対象とした改良方法は、既設構造物を活用した嵩上げ改良、護岸背後から吸出し防止のための改良、既設護岸撤去後の新設改良の3ケースとし、各ケースでの検討過程から得られた知見をもとに、留意点をまとめた。

1. はじめに

我が国の沿岸都市には、臨海部に大規模な港湾地帯が広がっており、港湾地帯は背後に人口、資産が多く集積していることから海岸を防護するため、海岸保全施設が整備されている。海岸保全施設のうち、港湾海岸の施設延長は、国土交通省の集計（平成 27 年 3 月時点）によると 2,874 km である。施設別の内訳は、護岸は約 70%、堤防は約 22%、胸壁は約 8% である。そのうち 1970 年以前に築造した施設延長が約 39% であることから、老朽化対策が必要とされる施設の増加が予測される。

海岸保全施設の改良について、中島ら¹⁾は、改良・更新における技術課題の抽出を目的に、海岸保全施設のうち、護岸、堤防、突堤等の施設について改良・更新事例をとりまとめている。

海岸保全施設に適用される技術上の基準は、海

岸法 14 条に規定されており、海岸保全施設の技術上の基準・同解説²⁾（以降：海岸技術基準）としては、平成 11 年の海岸法改正を受けて、改訂されているが、改良設計に関して具体的な知見は十分に蓄積されていない。更に、既設改良に着目した設計・施工を対象にした研究事例はほとんどない。

護岸の改良は、前面の海域及び背後の陸域に制約条件があることが多く、既設改良となることから既設構造物の活用、取壊し復旧等に配慮した改良計画が必要であるとともに、新設と異なり個々の制約条件や対策が多岐にわたることから、それぞれのケースに対応した設計、施工をしなければならない。

本研究では、海岸技術基準での設計の考え方を護岸の既設改良に適用させたケーススタディーを行い、その検討過程から導かれた設計・施工の留

* 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官

** 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長

意点をまとめることを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、護岸の既設改良に着目したケーススタディーを行なった。海岸保全施設には、堤防、護岸、防潮壁、胸壁等の施設があるが、その中でも護岸の施設延長が長いことから、本研究における対象施設として護岸を選定した。

既設改良を行う際、代表的な方法は、既設構造物を活用した嵩上げ改良、護岸背後から吸出し防止のための改良、既設護岸撤去後の新設改良に大別される。これらの特徴を踏まえて、制約条件、既設護岸の状況、設計条件を設定した。既設護岸の陸側、海側とも制約がある条件での既設改良を3 ケース想定した。これらのケーススタディーでの各検討段階から得られた知見をもとに、留意点をまとめた。

改良場所の制約条件は、現況護岸の状態より高潮対策、吸出し防止対策や円形すべり等の対策目的の考え方を示し、既設護岸の背後や海側での設計、施工上の条件を設定した。

性能照査は、海岸保全施設に求められる性能規定、性能照査の基本項目を、海岸技術基準や、既往文献資料を参考にして設定をした。また、性能照査の一部の手順については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」³⁾を参考にしてしている。

設計断面は、改良目的を踏まえた設計上の特徴を示し、断面の設定に至る考え方を示している。

施工検討は、設計と施工とのつながりを意識し、設計断面の特徴に関連する施工内容を検討した。既設改良の場合、設計断面の設定において、既設構造物を活用した改良工事を行う場合が多く、設計断面の設定段階で配慮した内容を適切に施工に反映させることが重要である。

留意点の抽出は、①制約条件、②性能照査、③設計断面の設定、④施工、それぞれの検討におい

て配慮と注意すべき内容を抽出した。

3. 既設構造物を活用した嵩上げ改良

3.1 改良場所の制約条件

本ケースの課題は、図1に示すように既設護岸背後からの吸出しにより陥没が発生していること、高潮に対する天端高が不足し、高潮浸水の危険があることと、護岸本体の滑動、転倒、円形すべりに対する安定性が不足していることである。目標は、高潮対策、土砂の吸出し防止対策、護岸本体の滑動、転倒、円形すべり対策となる。制約条件は、狭隘な水路域かつ干満差があることと、護岸に住宅が近接しており、その直下地盤が吸出しのため緩んでいることである。

3.2 性能照査の考え方と手順

3.2.1 性能規定

性能規定は、永続状態及びレベル1地震動に対して海岸保全施設の機能を損なわないこととした。要求項目は、高潮浸水に対し、所定天端高さを確保するために沈下量とした。永続状態の性能規定値は、耐力作用比 ≥ 1.0 、変動状態における性能規定値は、鉛直方向170 cmとした。性能規定値は、計画天端高より、既往最高潮位と50年確率波に対する許容越波量を満足する天端高の合計値の差を考慮して設定した。なお、水平方向は、規定しなかった。

3.2.1 性能照査

性能照査は、静的解析による本体の安定性を検討した。検討ケースは、常時の永続状態、レベル1地震時の変動状態、高潮時（既往最大級の台風）の変動状態で検討するものとして、検討手法は部分係数法で行った。本体工の安定性は、滑動、転倒、偏心傾斜、円形すべりの各項目で検討を行った。

3.2.2 円形すべりに対する鋼矢板の効果

円形すべりのすべり面上に鋼矢板がある場合、鋼矢板の効果を考慮した検討を行う場合がある。

鋼矢板による受働抵抗を期待する方法は、鋼矢板を横切る円弧の直下の範囲における受働土圧を期待して、円形すべりの抵抗モーメントを増加させる手法である。

図2に鋼矢板の必要根入れ深さについて、耐力作用比が最小（1付近）となる円弧と鋼矢板の根入れ深度の関係を示す。根入れ深さの設定は、円形すべり計算にて、耐力作用比 ≈ 1 となる矢板を横切る円弧の下端-3.90 mより、長さ2.03 mを根入れ長さとして考慮した。

耐力作用比 < 1.0 の円形すべりは、図3に示す鋼矢板の受働抵抗⁴⁾を受けることで、耐力作用比が2.37と大きくなり、護岸全体の最も耐力作用比が小さくなる円弧は、鋼矢板下端をとる円形すべりになる。鋼矢板を考慮しない円形すべりで耐力作用比が1.0となる位置から、鋼矢板の根入れは確保されているので、鋼矢板下端での耐力作用比は1.0よりも大きくなり、1.28となる。

3.3 改良する設計断面の設定と特徴

図4には、改良する設計断面図を示す。表1には、永続状態（常時）、変動状態（レベル1地震時）、変動状態（高潮時）での耐力作用比の照査結果一覧を示す。変動状態（レベル1地震時）の滑動では、所要の耐力作用比を満足しないため、不足する水平力を鋼矢板に負担させ、鋼矢板応力が許容値を満足することにより安定性を確保した。鋼矢板降伏応力と発生応力を照査したが耐力作用比は、1以上を満足している。

高潮対策は、既設護岸を嵩上げし、設計高潮位に対応する。既設護岸と嵩上げ部の接合は、波圧と維持管理を考慮して、エポキシ樹脂鉄筋を設置する。吸出し防止対策は、鋼矢板を打設する。

滑動、転倒、円形すべり対策は、鋼矢板頂部に笠コンクリートブロックを設置し、底張コンクリート打設、護岸本体部に増しコンクリートを打設して、本体、基礎、鋼矢板を一体化する断面とした。

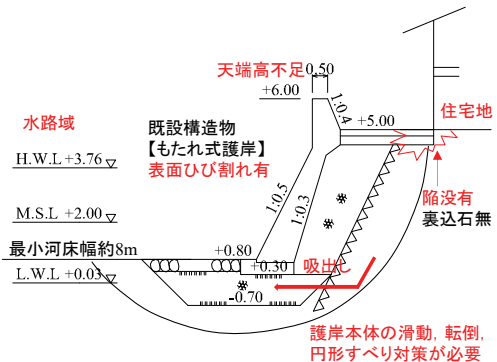


図1 既設護岸の断面図と現況構造物での課題

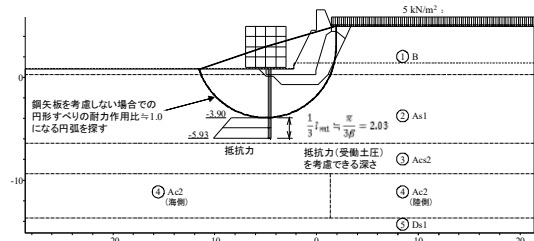


図2 耐力作用比が最小となる円弧と根入れ深度

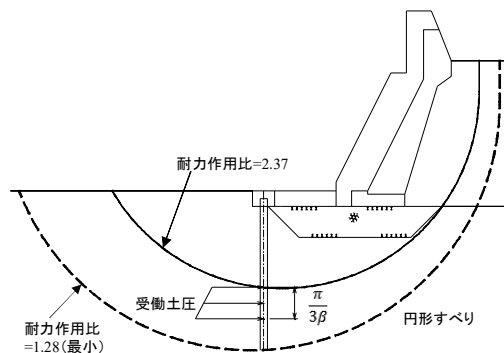


図3 円形すべり防止矢板効果の概念図

更に、滑動と円形すべり対策としては、吸出し防止矢板にそれぞれ滑動防止と円形すべり防止機能を兼用させる。水路域のため、設計断面が最小断面となることを目指す。護岸背後にある住宅直下の地盤が緩んでいるため、振動が少ない鋼矢板圧入工法を採用した。

本断面における概算の直接工事費は、本ケースで設定した条件より試算⁵⁾したところ、約55万円/mであった。主要工種の内訳は、それぞれ基礎工13.2%、本体工42.2%、鋼矢板工44.6%であった。

3.4 改良に関する施工検討

既設構造物を活用した嵩上げ改良の場合は、増しコンクリートと既設護岸との間の一体化が重要である。施工にあたってはコンクリート付着性を高めるため、既設護岸表面を図5に示すようにチップング後、一体化筋を施工し、無収縮モルタルを確実に削孔穴へ注入する。陸上施工が困難なため、クレーン付き台船を使用しコンクリートを打設する。水路域で潮位差があるため、作業サイクルに余裕を持った工程とする。鋼矢板打設による防護ラインの確保を行う。

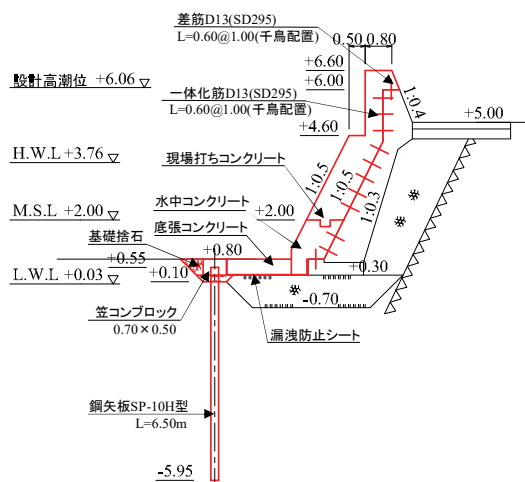


図4 改良する設計断面図

表1 照査結果

	項目	耐力作用比	
永続状態 常時	滑動	2.47	≥ 1.00
	転倒	8.20	≥ 1.00
	偏心傾斜	2.23	≥ 1.00
	円形すべり	1.28	≥ 1.00
変動状態 地震時	滑動	0.81*	≤ 1.00
	転倒	1.24	≥ 1.00
	偏心傾斜	1.01	≥ 1.00
変動状態 高潮時	滑動(引波)	2.66	≥ 1.00
	転倒(引波)	4.90	≥ 1.00
	偏心傾斜(引波)	2.27	≥ 1.00

*: 滑動抵抗力を確保するため、鋼矢板の設置で対応。

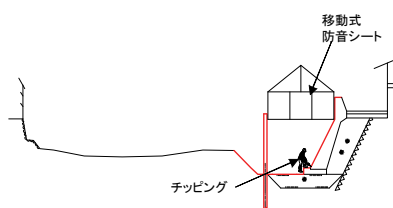


図5 既設護岸表面のチップング

4. 護岸背後から吸出し防止のための改良

4.1 改良場所の制約条件

本ケースの課題は、図6に示すように、ケーソン背後の吸出しにより陥没が発生している場合がある。捨石背後からの吸出しの原因は不明であり、埋立土が液状化した場合、本体の安定性が確保できない。目標は、目地部の吸出し防止対策、本体の転倒対策、液状化対策となる。制約条件は、護岸前面に消波工と捨石があり、護岸背後の法面上には、工場が立地している。防砂シートの破損状態を目視確認することができない。

4.2 性能照査の考え方と手順

性能照査は、静的解析で行なった。永続状態は、部分係数法による滑動、転倒、円形すべりの照査を行った。変動状態（レベル1地震時）の液状化時とし検討手法は部分係数法で行った²⁾。本体工の安定性確保は、転倒に対する安定性を補うため、

堤体背後の液状化層下部を改良することにより、液状化による水平作用力を低減させた。

図7には、レベル1地震時における外力作用の概念図を示す。本体ケーソンに作用する地震時慣性力に対し、前面抵抗と堤体自重による抵抗で安定性を確保し、液状化時の水平作用力に対しては、図中①の部分を液状化対策範囲とし、地盤改良することにより、液状化による水平作用力を低減させ、本体ケーソンの安定性を確保することとした。表2には、地盤改良範囲を変化させた耐力作用比の判定結果を示す。静的解析により、適切な地盤改良範囲を検討した。なお、地盤改良の強度は、 50 kN/m^2 、改良厚は、3.5 mと設定した。

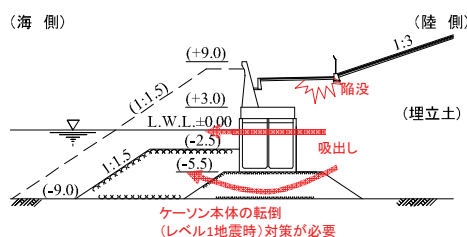


図6 既設護岸の断面図と現況構造物での課題

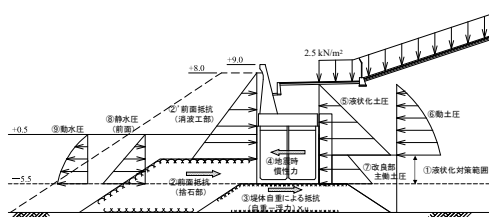


図7 外力作用の概念図

表2 改良厚を変化させた耐力作用比の判定

改良厚(改良天端高)	耐力作用比			判定
	滑動	転倒	偏心傾斜荷重に対する支持力	
0m (D.L.-5.5m)	1.22	0.86	$e > 1/2b$	N.G.
1.0m (D.L.-4.5m)	1.33	0.88	$e > 1/2b$	N.G.
2.0m (D.L.-3.5m)	1.46	0.92	1.51	N.G.
3.0m (D.L.-2.5m)	1.60	0.97	1.72	N.G.
3.5m (D.L.-2.0m)	1.68	1.01	1.84	O.K.
4.0m (D.L.-1.5m)	1.76	1.05	1.98	O.K.
5.0m (D.L.-0.5m)	1.94	1.14	2.16	O.K.
6.1m (D.L.+0.6m)	2.17	1.29	2.35	O.K.

4.3 改良する設計断面の設定と特徴

図8に改良断面を示す。吸出し防止対策は、目地部を溶液型薬液注入工法により間詰めする。波圧による改良体の劣化・損傷を防止するためにケーソン目地の形状に沿って鋼矢板を打設する。液状化対策は、護岸裏埋土を薬液注入工法にて固結する。捨石背後に敷設した防砂シートからの吸出しの有無は、地盤改良で用いた薬液漏出の有無で現場確認し、漏出がある場合は、防砂シートの破損部を間詰めする。液状化対策の範囲は、安定性照査により必要最小限の改良高とした。ケーソン目地部を止水性の高い工法で施工して対応することとした。

本断面における概算の直接工事費は、本ケースで設定した条件より試算⁵⁾したところ、約155万円/mであった。主要工種の内訳は、目地部改良工が12%、液状化部改良工が82.7%、撤去・鋼矢板工が6.2%であった。

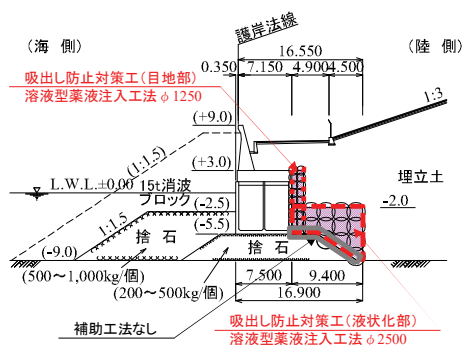


図8 改良する設計断面図

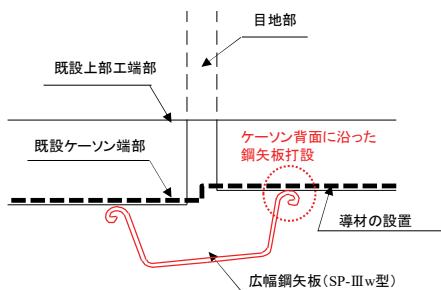


図9 ケーソン目地ずれ導材の設置

4.4 改良に関する施工検討

ケーソン目地部を直接確認できないため、止水性が高い工法を採用する。ケーソン間にずれがある場合、目地に打設する鋼矢板とケーソン壁に離隔が生じる恐れがある。そのため試掘を行い、鋼矢板の打ち込み角度を調整し、離隔が生じないようにする。

ケーソン目地ずれは、場所によって異なることが予察されるため、目地ずれにあわせた導材の使用を検討する。図9には、ケーソン目地部の背面形状に沿った導材使用の概念図を示す。

薬液斜め注入の際は、削孔角度をジャイロにより管理する。止水部と護岸の間に埋立土を残すと、すべて吸い出されるため、護岸背後に土を残さないよう薬液注入工法で隙間なく改良する。

5. 既設護岸撤去後の新設改良

5.1 改良場所の制約条件

本ケースの課題は、図10に示すように天端高が不足し、高潮浸水の危険がある。護岸前面の法面は、洗掘・崩壊していることと、液状化による崩壊が懸念される。既設護岸の背後は、土砂の吸出しが生じている。目標は、高潮対策、土砂の吸出し防止対策、洗掘崩壊対策となる。制約条件は、既設護岸前面に係留施設があるため、海上施工はできないこと、護岸背後には駐車場や住宅が集積しており作業ヤード確保が困難であることである。

5.2 性能照査の考え方と手順

5.2.1 性能規定

性能規定は、永続状態及びレベル1地震動に対して海岸保全施設の機能を損なわないこととした。要求項目は、高潮浸水に対して、所定天端高さを確保するために沈下量とした。永続状態の性能規定値は、耐力作用比 ≥ 1.0 、変動状態（レベル1地震動）における性能規定値は、鉛直方向：140 cm

とした。性能規定値は、計画天端高より、既往最高潮位と50年確率波に対する許容越波量を満足する天端高の合計値の差を考慮して設定した。なお、水平方向は、規定しなかった。

5.2.2 性能照査

性能照査は、静的解析による本体の安定性を検討した。検討ケースは、常時の永続状態、レベル1地震時の変動状態、高潮時の変動状態とし、検討手法は部分係数法で行った。本体工の安定性は、滑動、転倒、偏心傾斜、円形すべりの各項目で検討を行った²⁾。円形すべりに対しては、縁切り矢板を設置した条件で検討を行う。

5.2.3 円形すべりに対する縁切り矢板効果

円形すべり防止機能には、鋼矢板による受働抵抗を期待する方法に着目して検討する。鋼矢板による受働抵抗を期待する方法は、鋼矢板を横切る円弧の直下の範囲における受働土圧を期待して、円形すべりの抵抗モーメントを増加させる手法である。

図11には、新設護岸（方塊式ブロック）のH.W.L時でのレベル1地震動の検討ケースにおける外力作用モデルの概念図を示す。新設護岸の本体には、地震時慣性力が海側に作用する。一方、新設護岸の背面に作用する静水圧（図中②）は、海側前面での静水圧（図中③）と相殺される。これらを考慮して、新設護岸の安定性を照査した。

新設護岸本体の安定性を確保するために、新設護岸の海側前面に打設する縁切り矢板による効果を考慮し、円形すべりの照査を行なった。図12には、縁切り矢板設置効果の概念図を示す。この条件で検討したところ、もっとも危険になる円形すべり面は、鋼矢板の内側を切る円弧であり耐力作用比は、1.03であった。

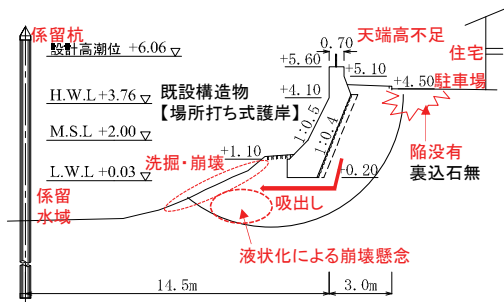


図 10 既設護岸の断面図と現況構造物での課題

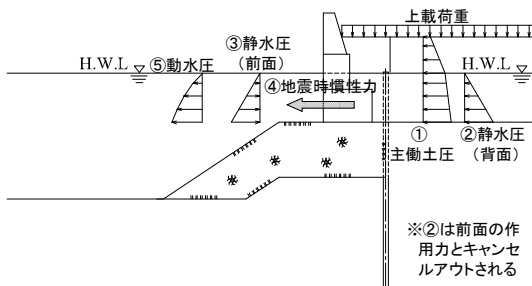


図 11 改良断面の外力作用モデル図

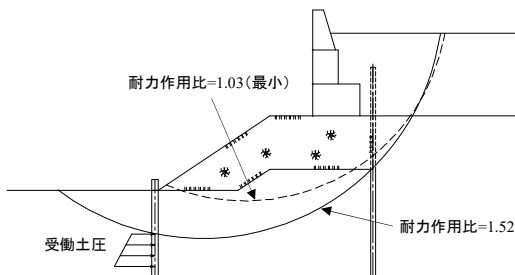


図 12 縁切り矢板設置効果の概念図

5.3 改良する設計断面の設定と特徴

改良する設計断面を図 13 に示す。表 3 には、永続状態、変動状態（レベル 1 地震動）、変動状態（高潮時）における耐力作用比の照査結果の一覧を示す。既設護岸前面の法面対策と液状化対策は、係留施設の水深まで現況地盤をすべて撤去して、護

岸を新設する。これに伴い、仮設工として二重矢板工法で仮堤防を築造する。

護岸新設に伴う前面係留杭の沈下対策は、縁切り矢板を設置する。円形すべり防止対策は、縁切り矢板に円形すべり防止機能を兼用させる。吸出し防止対策は、護岸背後に鋼矢板を設置するとともに、裏込石を護岸背後に投入する。

係留杭の沈下対策は、縁切り矢板の設置により、地盤の連れ込み沈下を防止することとした。新設護岸は、小型ブロック（約 20 t）の据付作業のため、施工性がよい方塊式ブロック工法とした。新設護岸を背後地盤高で概成させれば、陸上作業ヤードが確保できる。

方塊ブロックの高さは、施工中の暫定時を考慮した高さとして設定した。既設護岸を撤去する時には、一時的に防護ラインの確保が困難となるため、二重矢板による仮堤防を施工する。護岸本体背後の鋼矢板は、仮設時の二重矢板機能、完成時の吸出し防止機能を満たすように、根入れ深さを決定し、施工時の防潮ライン確保を満たすように鋼矢板天端高を決定した。（図 13）。

本断面における概算の直接工事費は、本ケースで設定した条件より試算⁵⁾したところ、約 130.5 万円/m であった。主要工種の内訳は、基礎工 8.4%、本体工 13.9%、鋼矢板工 49.7%、仮設工、20.5%、擁壁工・裏込工・水叩き工が 7.5% であった。

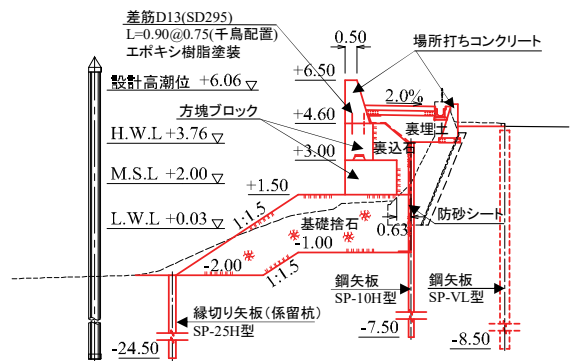


図 13 改良する設計断面図

表 3 照査結果

	項目	項目	耐力作用比
永続状態	滑動	+4.60m	3.40 $\geq$ 1.00
		+3.00m	1.04 $\geq$ 1.00
		+1.50m	1.22 $\geq$ 1.00
	転倒	+4.60m	17.98 $\geq$ 1.00
		+3.00m	2.09 $\geq$ 1.00
		+1.50m	2.54 $\geq$ 1.00
	偏心傾斜		1.11 $\geq$ 1.00
	円形すべり		1.03 $\geq$ 1.00
変動状態 地震時	滑動	+4.60m	2.09 $\geq$ 1.00
		+3.00m	1.03 $\geq$ 1.00
		+1.50m	1.12 $\geq$ 1.00
	転倒	+4.60m	2.77 $\geq$ 1.00
		+3.00m	1.04 $\geq$ 1.00
		+1.50m	1.18 $\geq$ 1.00
	偏心傾斜		1.02 $\geq$ 1.00
変動状態 高潮時	滑動(引波)	+4.60m	3.29 $\geq$ 1.00
		+3.00m	1.02 $\geq$ 1.00
		+1.50m	1.36 $\geq$ 1.00
	転倒(引波)	+4.60m	9.90 $\geq$ 1.00
		+3.00m	1.11 $\geq$ 1.00
		+1.50m	1.47 $\geq$ 1.00
	偏心傾斜(引波)		1.40 $\geq$ 1.00

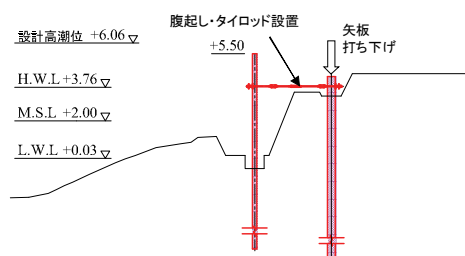


図 14 二重矢板による仮堤防断面

5.4 改良に関する施工検討

方塊式ブロック工法は、新設護岸の安定性確保や施工時の防護ラインや作業ヤード確保が重要であり、施工にあたっては、護岸背後の吸出し、護岸前面の斜面の洗掘・崩壊により既設護岸が不安定になる恐れがあるため、仮設二重矢板により仮堤防を施工し、施工時の安定性を確保する（図 14）。既設護岸を取壊す際には、施工段階にあわせて、方塊ブロック天端面を概成させて、護岸背後に作

業ヤードを確保する。振動により周辺施設に影響が生じる恐れがあるため、低振動の圧入工法での施工に配慮する。

6. 護岸構造物改良に関する留意点

本章では、護岸構造物改良に関する留意点を以下の通り抽出した。表 4 には、各ケーススタディーの検討段階から導かれた留意点を整理した。

6.1 既設構造物を活用した嵩上げ改良での留意点

6.1.1 静的照査

静的照査は、護岸本体の滑動、転倒、円形すべり、偏心傾斜に対する安定性確保が必要である。円形すべりに対する安定性が確保されていない場合は、護岸本体前面の吸出し防止矢板の対策が有効である。転倒に対する不足力は、増しコンクリート打設、滑動に対する不足力は本体前面に打設された吸出し防止矢板で静的な安定性を確保し、対策断面を最小に抑えることが可能になる。変動状態での滑動が所要の耐力作用比を満足しない場合は、不足力（水平力）を鋼矢板に作用させ、許容値を満足するように静的安定性を確保する手法もある。

6.1.2 制約条件への対応

既設護岸背後や民家直下では、吸出しによる空洞化、埋立土の緩みが生じている場合がある。鋼矢板打設等で振動による締固め効果が生じ、背後に変状が生じる。この場合は、極力振動の生じない施工方法を選定することとし、以下の事項に留意する。

吸出しが生じている場合でも、事前対策（例えば背後地直下の浸透固化）は、実施上困難であるため、施工後に変状が生じることによる現状復旧のための補償工事が発生する可能性があることをあらかじめ認識しておく。

背後に住宅が近接している場合は、海上施工を

選択するが、水深が浅く干満差がある場合には、クレーン付き台船での潮待ち施工を検討する。

6.1.3 設計断面の設定

高潮対策は、嵩上げコンクリート打設で対応する場合には、嵩上げ部と既設構造物と一体化する断面設定を検討する。吸出し防止対策は、護岸本体前面に矢板打設し、本体、基礎と鋼矢板を一体化した断面形状を検討する。転倒対策は、千鳥配置による一体化鉄筋を設置後、増しコンクリートの打設で既設護岸との一体化断面で対応することを検討する。滑動対策は、吸出し防止矢板に滑動防止機能を兼用させるのも一つの考え方である。

6.1.4 施工

既設構造物を活用した嵩上げ改良の場合は、増しコンクリートと既設護岸との間の一体化が重要である。コンクリート付着性を高めるため、既設護岸コンクリートの表面をチップングした後、差筋及び一体化筋を施工する。削孔長さ確保のために、削孔ドリルにマーキングを行い施工し、コンクリートと鉄筋とを付着させるため削孔穴清掃後、無収縮モルタルを確実に削孔穴へ注入する。水路域でかつ潮位差が多い場所で施工する場合は、作業サイクルに影響する可能性があるため、余裕を持った工程とする。

6.2 護岸背後から吸出し防止のための改良における留意点

6.2.1 静的照査

護岸背後地盤が液状化の恐れがある場合、レベル1地震時（液状化時）の静的検討を実施し、本体安定性（転倒）を満足できる最小限の液状化改良範囲を決定することに留意する。改良幅は、吸出し防止対策として捨石マウンドを包含できる範囲とし、改良高は、液状化時の静的照査より転倒安全率が確保できる高さをトライアル計算で決定することに留意する。捨石表面を薬液注入工法で止水するため、残留水位が高くなる可能性があり、施工後に、残留水位観測を行い、現実に応じた水位で再照査することが重要である。

6.2.2 制約条件への対応

改良体を波圧から防護するため、護岸目地部背後に鋼矢板を打設するが、護岸目地部が目視で確認できない場合には、ケーソン目地部を試掘して目地のずれを確認した上で、鋼矢板をケーソンに密着させることが重要である。

捨石表面を改良することで、護岸背後の残留水位が上昇する可能性があるため、現地水位観測を行い、その結果をフィードバックして設計に反映させることが重要である。

表4 ケーススタディーにおける留意点一覧

	既設構造物を活用した嵩上げ改良	護岸背後からの吸出し防止のための改良	既設護岸撤去後に新設改良	共通の留意点
静的照査	護岸の静的安定性確保 転倒：増しコンクリート 滑動：吸出し防止矢板 水平力を鋼矢板で対応	最小限の液状化対策範囲 改良高はトライアル計算で決定 残留水位の観測結果より再照査	護岸の静的安定性確保 縁切り矢板で円形すべり防止 鋼矢板は、地表面以上非考慮	変状・陥没等の事前調査 周辺施設運用への影響考慮 適切な改良工法の選定 試験工事による設計への反映 施工計画を考慮した仮設 経済性・施工性を総合的に判断
制約条件への対応	護岸背後は低振動工法 現状復旧の補償工事 潮待ち施工で対応	目地ずれ確認。鋼矢板密着 残留水位の観測結果を設計に反映	防潮ラインと作業ヤード確保 仮堤防による安定性確保 陸上作業による施工 係留杭の連れ込み沈下対策	
設計断面の設定	鋼矢板と底張コンクリート連続性 鋼矢板による安定性機能確保 吸出し防止矢板の配置	目地部の止水性確保 吸出し防止対策と液状化対策の兼用 改良高さは安定性照査から決定	作業ヤードを確保できる工法 鋼矢板打設断面での各機能確認 方塊ブロックと上部工の一体化	
施工	チップングによるコンクリート一体化 削孔によるコンクリートと鉄筋付着 潮待ち工程を考慮	薬液注入工法で隙間なく改良 斜め削孔で広範囲を改良 捨石背部薬液の漏出防止	二重矢板による防潮ライン確保 維持管理を考慮した材料使用	

6.2.3 設計断面の設定

ケーソン目地から背後土砂の吸出が発生している場合、目地からの波圧が直接改良体に作用することを防止するため、目地に鋼矢板を打設し、その周辺での止水に留意する。

捨石上の防砂シート欠損による吸出し防止対策と液状化対策を兼ねる場合は、捨石マウンドを包含する幅にて溶液型薬液注入工法で固結する。なお、改良高さは、本体の安定性が確保できる高さとすることに留意する。液状化対策の改良高さは、安定性照査から決定する。改良幅は、吸出し防止対策も兼用させているため、捨石法尻までとする。

6.2.4 施工

護岸前面での対策ができない場合、止水工と護岸の間に埋立土を残すと、吸出しが助長されるため、護岸背後に土を残さないようにすべて改良することが必要である。このため、薬液注入工法で隙間なく改良することが重要である。

護岸背後に盛土法面がある場合は、斜め削孔により護岸背後から盛土法面下までの広範囲を改良することに留意する。捨石背後部の吸出しがある場合、薬液注入が漏出して施工できない恐れがある。漏出がある箇所に、現場対応で防砂シートを間詰めしてから改良することが重要である。この対応により、現地で施工状況を確認しながら、捨石背後の吸出し防止対策を行うことができる。

6.3 既設護岸撤去後の新設改良での留意点

6.3.1 静的照査

新設護岸海側の縁切り矢板を、円形すべり防止矢板として機能させ、円形すべり破壊を防止する。円形すべりの検討において、海側の縁切り矢板を考慮しない場合、円形すべりの耐力作用比が安定性を満足しないことが懸念されることに留意する。

新設護岸背後の吸出し防止矢板は、腐食により50年後は機能が喪失するものとして、地表面以上

は考慮しないことで対応する。

6.3.2 制約条件への対応

既設護岸を取壊して護岸を施工する場合は、あらかじめ仮堤防を設置し、施工時に背後域（住宅・工場等）への浸水を防護するため防潮ラインを確保することに留意する。背後に施工ヤードの確保が困難な場合は、暫定護岸を完成させ、施工ヤードとして利用すると、工程管理が容易となる。

既設護岸背後の吸出し、既設護岸前面の斜面崩壊により既設護岸が不安定であるため、仮設二重矢板による仮堤防を施工し、施工時の安定性を確保することに留意する。なお、周辺施設への影響については、極力振動の生じない工法選定に留意する。護岸海側に係留施設がある場合には、海上で作業スペースの確保が困難であり、陸上施工を採用することがある。海側に係留施設が設置されている場合、施工時には係留杭の連れ込み沈下対策としては、縁切り矢板を設置することが安全上望ましい。

6.3.3 設計断面の設定

陸上施工で、かつ、干満差による潮待ち施工となる場合、施工性が良く作業用スペースが確保できる工法を選定することに留意する。鋼矢板を打設する場合は、本体工背後の矢板に吸出し防止機能を持たせ、本体工前面の矢板には、縁切り矢板機能、円形すべり防止機能を持たせることに留意する。それぞれの断面で検討を行い、すべての機能を満足できる諸元とする必要がある。

方塊ブロックの境界面には、ホゾを設け、滑動防止に留意する。方塊ブロックと上部工には、差筋を入れて、断面構造の一体化を図ることが重要である。

方塊ブロックと上部工の間には隙間ができやすく、接合部は、構造上弱点となる可能性がある。鉄筋腐食を予防のため、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることも必要である。方塊ブロック高さは、

完成時までの作業ヤード利用が見込めることから、暫定施工時の標高を考慮した決定に留意する。

6.3.4 施工

既設護岸を取壊すため暫定防潮ラインが必要になるため、施工に合わせて、仮設二重矢板の前後の矢板を交互に用いて、防潮ラインを確保する。上部工とブロック間の差筋は、維持管理を考慮しエポキシ樹脂塗装鉄筋を用い、確実に施工することに留意する。

鋼矢板を打設する場合、工事の振動により周辺施設に変位や沈下による影響が生じる可能性があるため、極力低振動の工法を採用することに留意する。仮設二重矢板の中詰土を施工する際は、締固めが緩いと、タイロッドを撤去した際、前面鋼矢板の変形が大きくなる原因となるため、良く締固めることに留意する。鋼矢板前面の捨石施工は、鋼矢板との境界部が緩んでいると、タイロッド撤去時に鋼矢板が変形する原因となるため、特に注意して間詰めを実施することに留意する。

6.4 既設護岸改良に関する共通の留意点

既設護岸を改良する場合は、変状、陥没の状況を確認するために、事前調査を実施し、適切な設計手法を選択する必要がある。既設護岸背後に立地している施設がある場合は、それらの施設に影響を極力与えない方法で設計断面を検討が必要である。周辺施設（倉庫、工場、住宅等）に対し運用時間や騒音等の環境影響への配慮についても必要である。

改良工法を適切に選択するためには、現地の制約条件、設計条件、施工条件を把握し、経済性などを総合的に検討して、工法を設定する必要がある。その中でも、既設構造物のコンクリート、鉄筋等の健全度に関する状況把握調査も重要な視点である。設計断面の決定後、改良工事が適切に実施できるか確認するために、試験施工を実施し、その結果を踏まえて、必要に応じて設計断面を見

直しすることが必要である。

施工機械や施工段階を考慮し、段階ごとの仮設構造物の設計条件を設定する場合がある。その際には、施工計画を考慮し、仮設部材の決定を行う必要がある。改良にあたっては、経済性、施工性等総合的に判断し過大な断面設定にならないように工夫する。改良後に使用する部材等を用いて効率的な断面とすることが必要である。

7. 結論

本研究では、既設改良に着目した海岸護岸における設計・施工のケーススタディーを行い、制約条件、性能照査、設計断面設定、施工検討の各段階で得られた知見をもとに留意点をとりまとめた。

既設改良を実際に行う際には、共通の留意点である変状・陥没等の事前調査、改良工法の選定を適切に行い、その上で各ケースの留意点を踏まえつつ具体的な制約条件にあわせた改良内容を検討していくことが重要である。

しかしながら、ここにとりまとめた留意点は、各ケーススタディーの条件・検討のもとで導かれたものであるため、網羅的・普遍的なものとはなっておらず、条件によっては当てはまらない場合があることに留意が必要である。

謝辞

国土交通省港湾局、地方整備局の関係各位には、資料提供等についてご協力を賜りました。ここに記して深くお礼を申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 中島晋, 横田弘, 関根好幸, 山道広人：海岸保全施設の改良・更新事例集, 港湾技研資料, No.848, pp1-95, 1996.
- 2) 海岸保全施設技術研究会編：海岸保全施設の技術上の基準. 同解説, 2006.
- 3) 社団法人日本港湾協会, 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）.
- 4) 山海堂編：鋼矢板工法（上）, pp1-328, 1982.
- 5) 国土交通省港湾局：港湾請負工事積算基準, 2016.

著者紹介

内藤 了二（正会員）

国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官（横須賀市長瀬 3-1-1）, 昭和 63 年 3 月 運輸省入省, 平成 22 年 9 月 京都大学大学院 博士後期課程修了, 博士（工学）, 土木学会会員, 日本水環境学会会員, 日本環境化学学会会員, E-mail: naitou-r852a@mlit.go.jp.

鮫島 和範（非会員）

国土交通省 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長（横須賀市長瀬 3-1-1）, 平成 14 年 3 月 九州大学大学院 修了, 平成 14 年 4 月 国土交通省入省, 平成 28 年 4 月 九州地方整備局 計画企画官.
E-mail:sameshima-k83ab@mlit.go.jp

Key points derived from the case studies on the design and construction of the coastal protection structures focusing on improvement works

Ryoji NAITO and Kazunori SAMESHIMA

ABSTRACT: The improvement works of the coastal protection structures in the port areas requires considerate plans that take into account the existing structure, of which some parts be reused while other parts be demolished and rebuilt. It also needs to take into account the many constraints, both on the front (sea) and at the back (land) sides, in the design stage as well as the work execution stage. Thus the design and the work execution of the improvement works needs to be tailored according to the conditions of each and every case. In this study, we have conducted three case studies focusing on the improvement works of the coastal protection structures. In each case study, we have set up the detail conditions or assumptions on the following points: 1) constraints; 2) performance verification; 3) setting of the design cross sections; and 4) construction techniques taking into account the design constraints. As for the three case studies on the improvement works, we have chosen: height raising of the existing structures; the landside sand and soil suction prevention works behind the revetment; and the total replacement with new structures after the removal of the existing structures. This paper summarizes the key points derived from those case studies.

KEYWORDS: *shore protection facility, improvement, coastal revetment, design and construction*