

重力式岸壁の耐震補強に関する研究

稲垣 紘史¹・稲富 隆昌²・及川 研³・上 藺 晃⁴・山下 雅人⁵・佐藤 芳則⁶

¹正会員 工修 (財)沿岸開発技術研究センター常務理事

²正会員 工博 運輸省港湾技術研究所構造部部長

³正会員 工修 運輸省港湾局環境整備課海域環境対策室長

⁴正会員 (財)沿岸開発技術研究センター第2調査研究部長

⁵正会員 (財)沿岸開発技術研究センター主任研究員

⁶(財)沿岸開発技術研究センター研究員

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震の経験をふまえ、港湾施設の耐震対策や災害復旧拠点としての港湾空間の役割など、多方面において地震に強い港湾のあり方の検討が行われている。

本研究では、近年に発生した地震災害復旧事例および係留施設の改良事例から耐震補強工法として採用可能な工法を抽出し、整理・分類を行った。この結果を踏まえ、今後増加すると考えられる既存岸壁の耐震補強工法を体系化し、具体的提案を示した。その主要な補強工法の一つである前面ケーソン新設タイプについて、設計方法、適用範囲、および変形照査の検討を行い、耐震補強工法の有効性について考察を行ったものである。

Key Words: caisson, earthquake, port and harbor, quay, earthquake resistant, quay walls

1. はじめに

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震において、港湾施設は甚大な被害を受け、港湾の機能は麻痺状態となった。特に神戸港が国際港湾であることから、我が国内外の広い地域の経済社会活動に多大な影響を及ぼした。この大震災の経験をふまえ、港湾における施設の耐震対策や災害復旧拠点としての港湾空間の役割など、多方面から地震に強い港湾のあり方が検討されている。

本研究では、近年に発生した地震災害復旧事例および係留施設の改良事例から耐震補強工法として採用可能な工法を抽出し、これらを整理し、分類を行った。この結果を踏まえ、今後増加すると考えられる既存岸壁の耐震補強工法を体系化し、具体的提案を示した。その主要な補強工法の一つである前面ケーソン新設タイプについて、設計方法、適用範囲、および変形照査の検討を行い、耐震補強工法の有効性について考察を行うものである。

2. 耐震補強工法の種類

以下に示す近年に発生した地震を対象とした地震災

害復旧事例および係留施設の改良事例¹⁾から、耐震補強工法として有効な工法を抽出し、整理・分類を行った。

- ①日本海中部地震 (昭和58年 5月26日発生)
- ②釧路沖地震 (平成 5年 1月15日発生)
- ③北海道南西沖地震 (平成 5年 7月17日発生)
- ④北海道東方沖地震 (平成 6年10月 4日発生)
- ⑤三陸はるか沖地震 (平成 6年12月28日発生)
- ⑥兵庫県南部地震 (平成 7年 1月17日発生)

復旧・改良された岸壁は様々な構造形式があり、表-1に示すように、その大部分が重力式、矢板式および栈橋式である。そこで、本研究では係留施設の内、最も実績の多い重力式岸壁の検討を行ったものである。

表-1 復旧・改良された岸壁の構造形式別比率

復旧・改良された岸壁の構造形式			
設置水深	-10m 以上	-10 ~ -4.5m	-4.5m 未満
・重力式	73%	61%	48%
・栈橋式	4%	13%	4%
・矢板式	18%	21%	48%
・その他	5%	4%	0%

耐震補強に利用できる工法を、法線の変更、工法の種類によって分類・整理を行うと、表-2のようになる。

表-2 耐震補強工法の分類(既設重力式構造物対応)

工法の分類	工法名称	工法の概要
対象構造形式(法線変更):重力式(法線変更なし)		
土圧低減工法	裏込撤去工法	裏込材を撤去し、土圧を低減(既設背後に土留構造必要)
	軽量混合処理土置換工法	裏込材を撤去し、軽量混合土と置換し作用土圧を低減する
	水砕スラグ置換工法	裏込材を撤去し、水砕スラグと置換し作用土圧を低減する
	事前混合処理土置換工法	裏込材を撤去し、事前混合処土と置換し、作用土圧を低減する
	セメント系固化処理工法	裏込材をセメント固化し、作用土圧を低減する
重量増大工法	一体化コンクリート工法	既設と一体化したコンクリートを打設し、滑動抵抗力を補強する
	中詰重量化工法	中詰材を銅水砕、コンクリート等で重量化し、滑動抵抗力を補強する
	上部重量化工法	上部コンクリートを増設し、滑動抵抗力を補強する
滑動抵抗力補強工法	滑動抵抗矢板工法	既設直前面に根固杭を打設し、既設と水中部で結合し、滑動抵抗力を補強
	控え杭工法	既設背後に控え工を設置し、既設とタイロッド等で結び、滑動抵抗力を補強
対象構造形式(法線変更):重力式(法線変更有り)		
重量増大工法	一体化コンクリート工法	既設と一体化したコンクリートを前面に打設し、滑動抵抗力を補強
	一体化矢板コンクリート工法	前面に矢板を設置し、既設との間にコンクリートを打設し、既設と一体化
	一体化杭工法	前面に鋼管杭(矢板)を設置し、既設との間にコンクリートを打設し一体化
	前面新設構造物設置工法	前面に重力式を新設し、既設との間の間詰石で既設の抵抗力を増強
矢板式構造物工法(既設控え)	矢板式構造物工法	前面に矢板式を設置し、既設との間の間詰石で既設の抵抗力を増強(既設を控え工として利用)
	矢板式構造物工法	前面に矢板式を設置し、既設との間の間詰石で既設の抵抗力を増強
棧橋式構造物工法(土留め機能付き)	棧橋式構造物工法	前面に棧橋式(土留め構造あり)を設置し、既設との間の間詰石で既設の抵抗力を増強
	棧橋式構造物工法	前面の棧橋式(土留め構造なし)を設置し、既設との間の間詰石で既設の抵抗力を増強

3. 工法分類のフロー

図-1に重力式既存岸壁の耐震補強工法の分類フローを示す。

工法は、法線の変更を行わない場合、岸壁背後を撤去、軽量材、事前混合材への置換を行う土圧低減工法、滑動抵抗力を増す重量増大工法、鋼材を用いて滑動抵抗を期待する工法、また法線の変更を行う場合、岸壁前面にコンクリートを打設する工法、構造物を新設する工法に分類される。

本研究では、神戸港の震災復興において多くの実績のある前面に重力式構造物を設置する工法、いわゆる「デタッチケーソン」工法について設計法、耐震補強工法としての適用性及び変形照査について述べる。

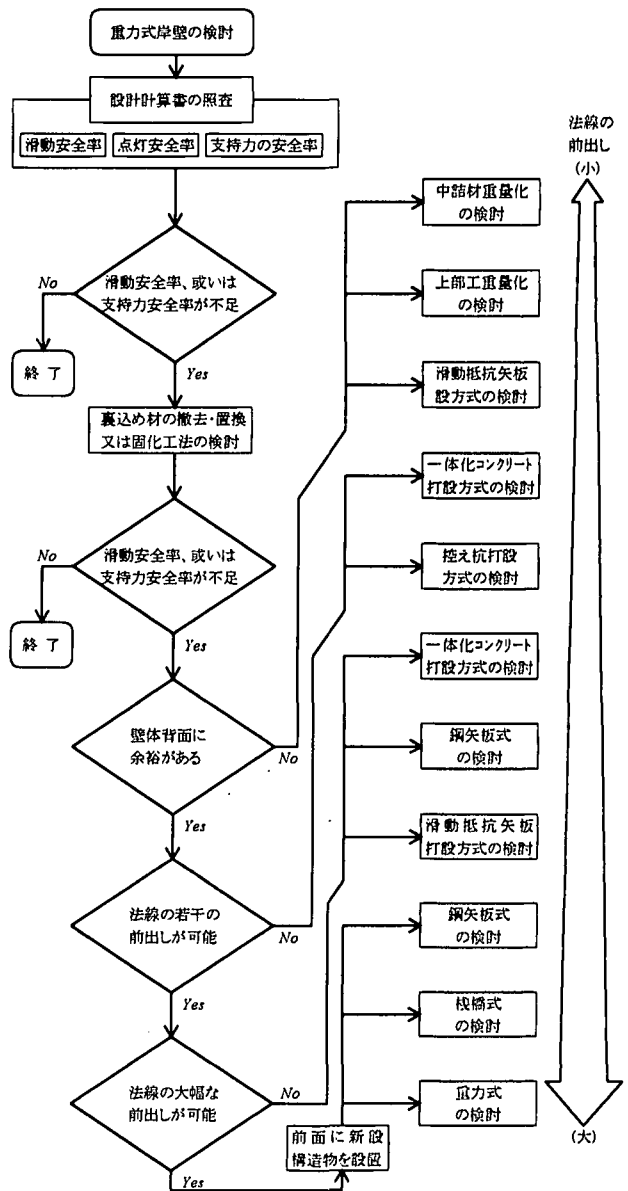


図-1 重力式岸壁の耐震補強工法分類フロー図

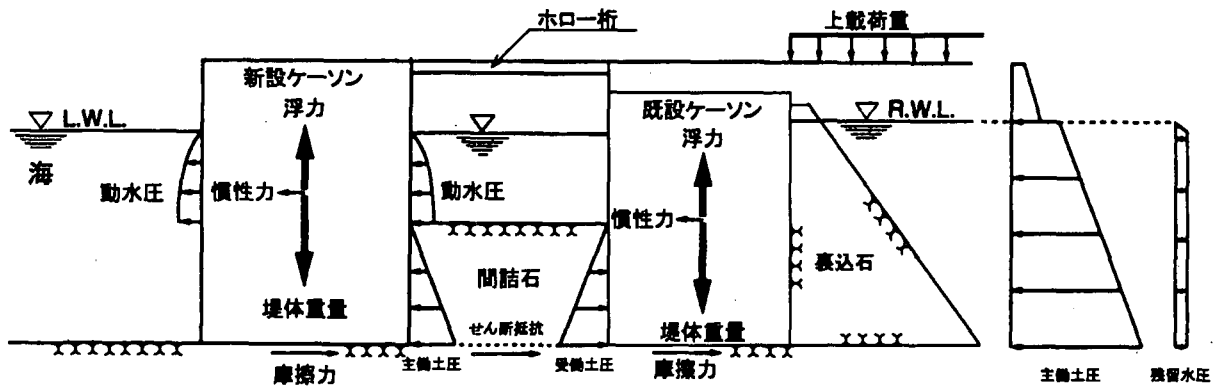


図-2 デタッチトケーソン構造の設計外力・抵抗力の考え方

4. 耐震補強工法としての適用性の検討

(1)設計の考え方

デタッチトケーソン構造の設計の考え方は、従来の岸壁と同様に震度法による設計を基本とした。図-2にデタッチトケーソン構造の設計外力・抵抗の考え方、図-3にデタッチトケーソン構造を耐震補強工法として設計する場合のフローを示す。基本的な考え方は以下の通りである。

a)既設ケーソンの不足抵抗力の検討

設定した設計震度で既設ケーソンの地震時安定性を照査し、既設ケーソンの滑動安全率不足分に相当する水平力 T を計算する。

b)間詰石の検討

既設ケーソンの滑動安全率不足分に相当する水平力は、間詰石の受働抵抗で補うものとし、必要な間詰石の幅と高さを設定し、再度、地震時安定性を照査する。間詰石の高さは、滑動安全率あるいは転倒安全率不足分に相当する水平力と等価な受働土圧(前面が無限長の水平地盤と仮定した場合の土圧)が得られる高さ以上とする。

c)新設ケーソンの検討

新設ケーソンに作用する地震時の外力を計算し、ケーソン幅等の諸元を決定する。作用する外力としては、新設ケーソン本体の慣性力、間詰石から作用する主働土圧、動水圧(間詰石天端面より上部)を考え、抵抗力としては、ケーソン底面の摩擦力を考慮する。

本設計法を適用する場合の問題点として、既設ケーソンと新設ケーソンの地震時の挙動があげられる。第三港湾建設局で行われた模型振動実験や数値シミュレーション(FLIP)などの変形照査の結果²⁾から、新設ケーソンと既設ケーソンの変形・振動性状がほぼ同一であること、および、残留変位量が非常に小さく抑えられること

が検証され、設計法がおおむね妥当であることが確認された。

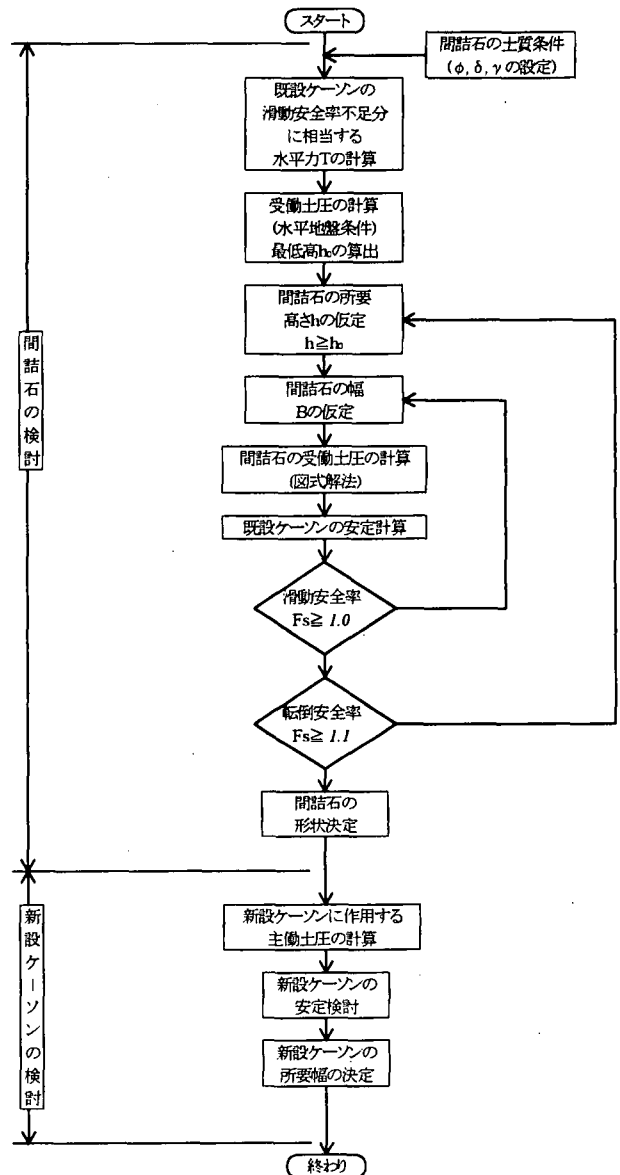


図-3 デタッチトケーソン構造の設計フロー

(2)耐震補強工法としての適用性

a)検討方法

デタッチケーソン工法は、既設岸壁の前面に新たな岸壁を作る工法であることから、すべての設定震度に対して適用可能である。適用性を検証するにあたって、具体的に間詰石の高さ、幅、新設ケーソンの関係を検討するため、岸壁の対象水深として-7.5m、-10m、-12mの3水深を、また、対象初期設計震度としては $K_h=0.10, 0.15, 0.20$ の3震度を設定した。各断面の検討に用いた設定震度は表-3の通りである。

表-3 各断面に対する設定震度

初期設計震度	設定震度		
	0.15	0.20	0.25
0.10	○	○	○
0.15	-----	○	○
0.20	-----	-----	○

b)検討結果

表-4に初期設計震度 0.10 の-10m 岸壁の設定震度を上げた場合の間詰石の高さ、幅および新設ケーソンの関係を示す。その関係を図化したものが図-4である。

表-4 -10m岸壁($K_h=1.10$)の検討結果

設定震度	間詰石の 相対高さ	間詰幅 (m)	新設ケーソン幅 (m)
0.15	0.25 H	3.86	5.60
	0.50 H	1.93	4.30
	0.75 H	1.28	3.50
0.20	0.25 H	-----	-----
	0.50 H	9.19	6.40
	0.75 H	6.13	6.00
0.25	0.25 H	-----	-----
	0.50 H	22.02	9.10
	0.75 H	14.68	9.90

この検討から、間詰石の高さを低くしても新設ケーソンの幅は小さくならないことが判明した。これは動水圧の影響で、間詰石の高さが低くなると動水圧の影響が大きくなるためである。水深が深い岸壁になるほど、この動水圧の影響は大きくなる。実施設計ではクレーン幅等も考慮し、経済的な間詰石の高さと幅を設定する必要がある。

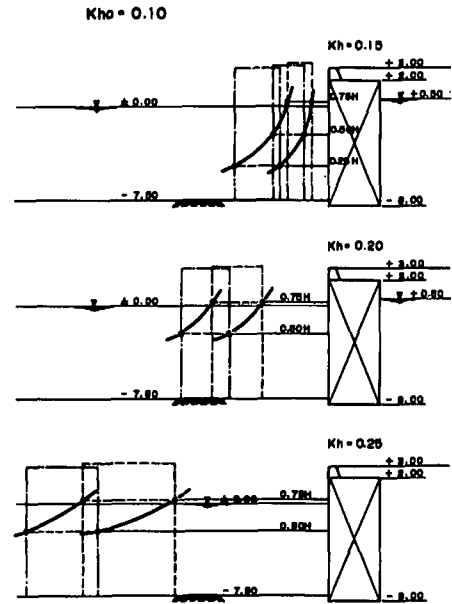


図-4 間詰石の高さと幅の関係

6. まとめ

本研究は過去の補強の事例を整理し、体系化を行ったものである。特に土圧低減工法は、震度増加の限界が考えられる。デタッチケーソンでは、新たに岸壁を作り既存岸壁を利用し、外力を2つのケーソンで分担して受け持つことにより経済的な耐震補強が可能である非常に合理的な工法であると考えられる。また、設計法についても妥当性が検討されるとともに有用な工法であることが実証できた。

7. おわりに

港湾の耐震性の強化が要請されるなかで、本研究は阪神・淡路大震災および近年の復旧事例を参考に、既存岸壁の耐震補強の検討を行ったものである。今後、従来の設計法で対処が困難である、ケーソンと矢板、ケーソンと杭などの異種構造物の組み合わせによる補強工法などについても検討を進めていく予定である。
謝辞：運輸省第三港湾建設局には設計資料等の提供を頂き、また、(株)日本港湾コンサルタントには検討の協力を頂いたことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1)片岡真二、高橋邦夫ほか：港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討、港湾技研資料、No.781、1994
- 2)松永康夫、及川研、園山哲夫：被災した重力式ケーソンの耐震強化法、第2回 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集/d-3,pp.301-308,土木学会, 1997