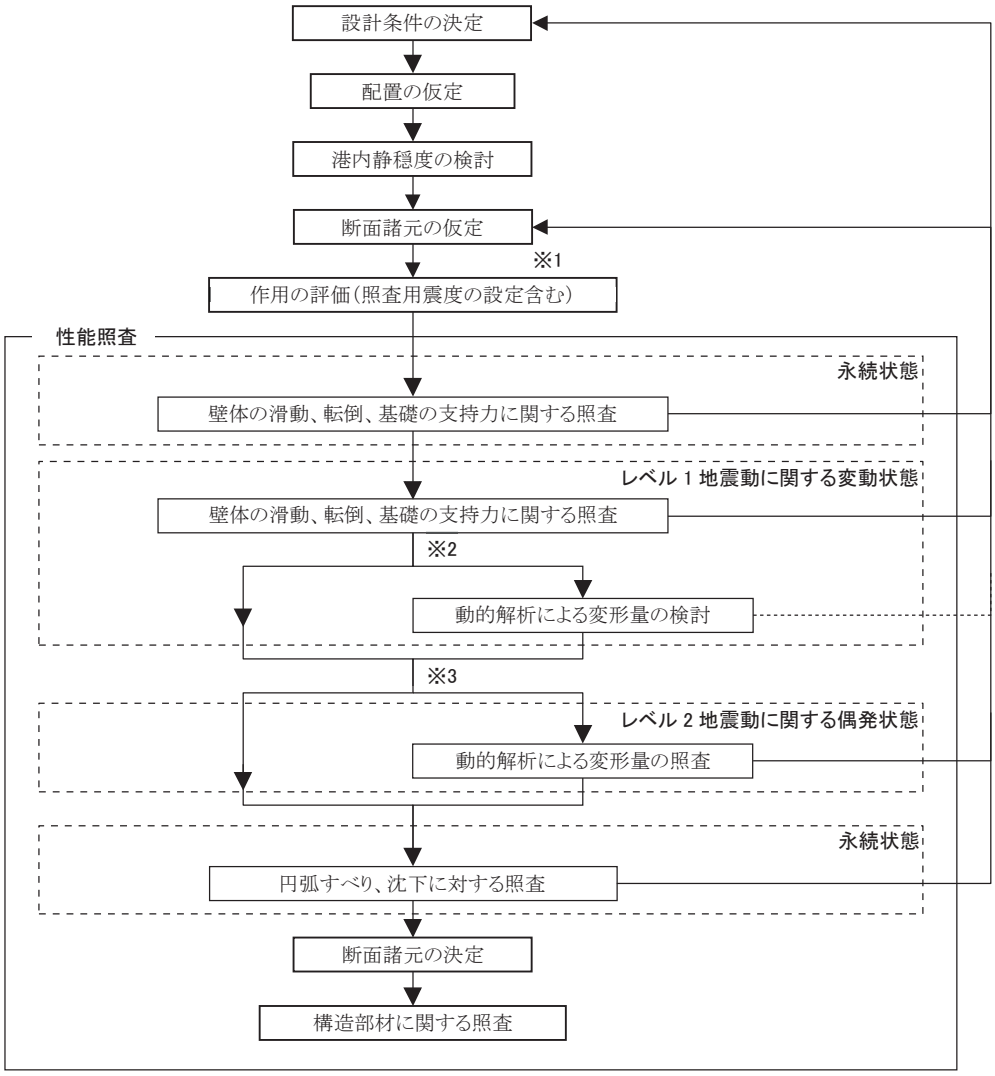


※1：液状化の影響の評価については表示していないため、別途考慮する必要がある。
※2：必要に応じて、レベル1地震動に対して動的解析による変形量の検討を行うことができる。
なお、耐震強化施設にあっては、レベル1地震動に対しても動的解析による変形量の検討を行うことが望ましい。
※3：耐震強化施設は、レベル2地震動に対する照査を行う。

図－2.11.3 直立消波式係船岸の性能照査順序の例

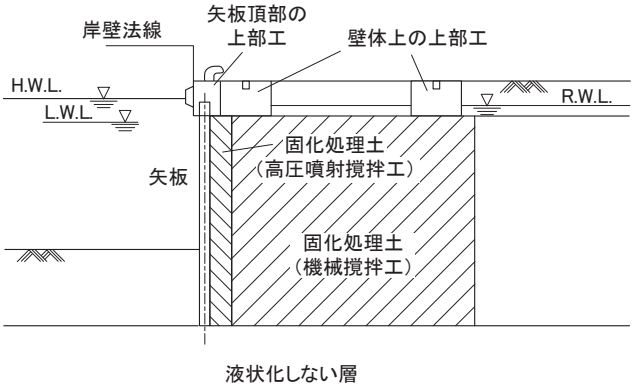
2.12 固化処理土式係船岸

2.12.1 一般

(1) 固化処理土式係船岸は、深層混合処理工法等によってセメントで固化処理した高強度な土で壁体（以下、「固化処理土」という）を形成する構造である。固化処理土の設計にあたっては、**[施] 第2章5.5深層混合処理工法**を参照することができる。

(2) **図－2.12.1**に、固化処理土式係船岸の概略図を示している。固化処理土は背後地盤を支え、その前面は直立壁となる。乾燥と湿潤の状態が繰り返されると固化処理土は劣化するため、固化処理土の天端を残留水位以下とするか乾燥対策を施す必要がある。また、固化処理土の下部の層が液状化すると岸壁に大きな変位が生じるので、固化処理土を液状化しない層に着底させることを原則とする。固化処理土の安定性を高めるために、固化処理土の下端を海底面よりも深くなるように設定し、固化処理土の幅は高さよりも広くすることが望ましい。幅が狭い固化処理土にすると、大きな外力が作用することで、固化処理土に曲げ破壊が生じたり、

固化処理土が傾斜したりする可能性がある。固化処理土の前面には、矢板などの固化処理土の劣化防止工・防護工を設置する。



図－2.12.1　固化処理土式係船岸の概略図

(3) 固化処理土には上載荷重や地盤反力、土圧、慣性力などの多様な力が作用する。このことから、固化処理に深層混合処理工法を用いる場合の改良形式としては、固化処理土の一体性を保つためにブロック式とすることが望ましい。陸側の深部などの内部安定に影響を与えにくい箇所に格子式や壁式、接円式（接円ラップ）を適用することも考えられるが、これらの改良形式を採用する場合には、格子壁のせん断破壊や曲げ破壊、壁間土砂の抜け出し等の内部安定について追加で照査する必要がある。なお、岸壁法線直角方向の一体性を保つために、この方向には改良杭をオーバーラップさせて接合を強固にする必要がある。

(4) 固化処理土式係船岸は、当初、既存の矢板式係船岸の改良を目的として採用されたが[90]、新設の係船岸の構造形式として選定することも可能である。

(5) 海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾の係船岸では、固化処理土上部で重量物を取り扱ったり、固化処理土前面において自航式のSEP船（自己昇降式作業台船）のレグを着底したりする。これらの外力にも適応できる固化処理土式係船岸が多く採用されている。

(6) 固化処理土式係船岸の地震時の挙動については遠心模型実験や地震応答解析で検討されており[91]、設計及び施工にあたっては、この文献を参照することができる。

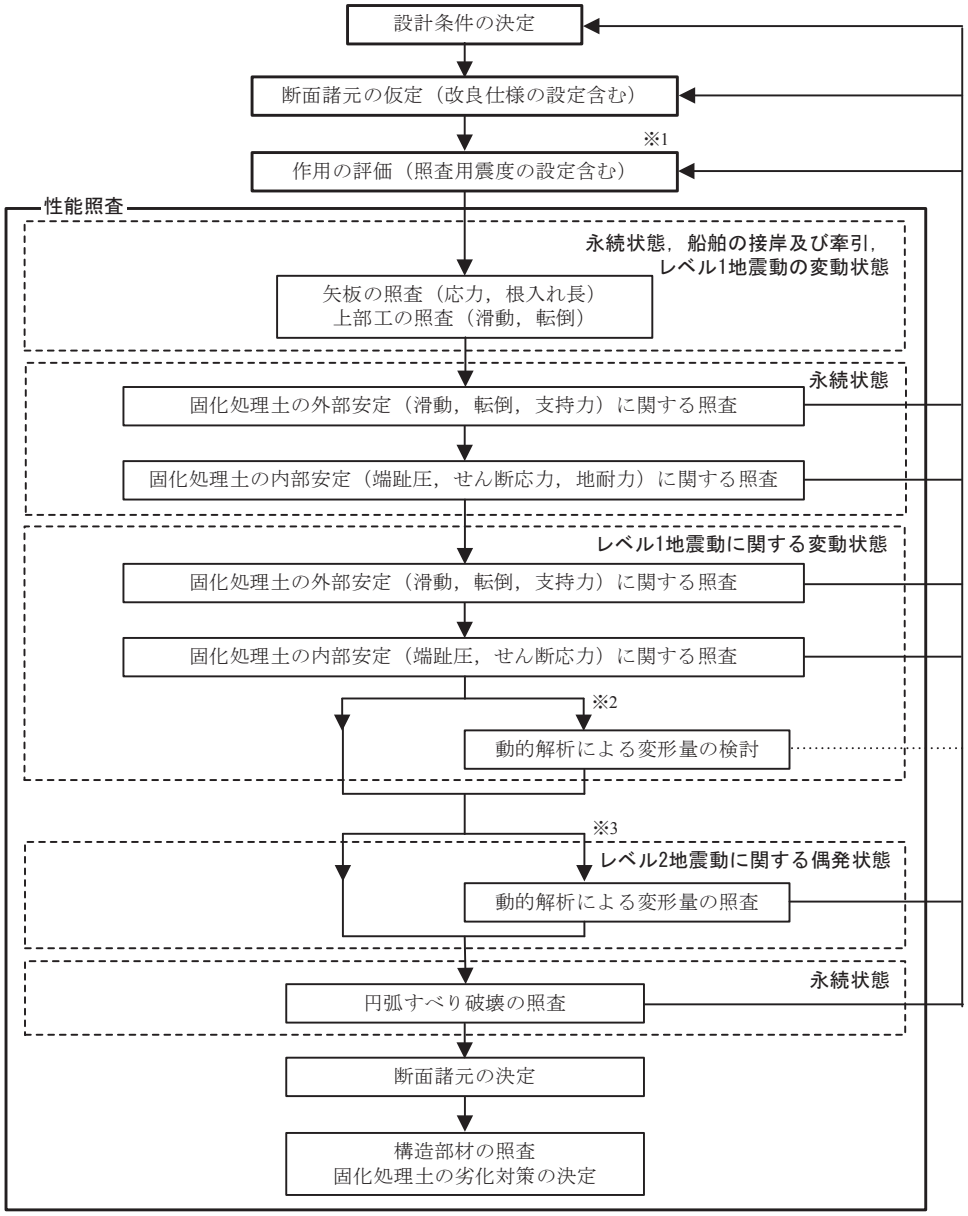
2.12.2 性能照査

(1) 固化処理土式係船岸の性能照査順序の例を**図－2.12.2**に示す。固化処理土式係船岸の性能照査に用いる部分係数は現時点では検討されておらず、便宜的に、調整係数を用いた照査を行う。性能照査項目及び調整係数については、**深層混合処理工法による岸壁構造 設計・施工マニュアル（案）**[92]を参照することができる。

(2) **図－2.12.2**には、地震動による液状化等の影響の評価については表示していないので、例えば**[作] 第7章 地盤の液状化**を参照して、液状化の有無及びその対策について、適切に検討する必要がある。レベル1地震動に関する変動状態については、震度法により照査することができる。ただし、耐震強化施設においては、地盤－構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析等により変形量の検討をすることが望ましい。なお、耐震強化施設以外の固化処理土式係船岸では、レベル2地震動に関する偶発状態における照査を省略することができる。

(3) レベル1地震動に関する変動状態における固化処理土式係船岸の性能照査に用いる照査用震度の特性値は、構造特性を勘案して適切に算定するものとする。なお、過去に、等しい照査用震度を用いて設計した重力式

係船岸と固化処理土式係船岸に対して非線形地震応答解析が行われ、両者の残留変位は同程度であった。このことから、便宜的に、固化処理土式係船岸の照査用震度の特性値は、固化処理土底面から天端までの高さを壁高として**本章2.2 重力式係船岸**に準じて算定してもよい。



※1：液状化の影響の評価については表示していないため、別途考慮する必要がある。
※2：必要に応じて、レベル1地震動に対して動的解析によって変形量を検討する。
※3：耐震強化施設の場合、レベル2地震動に対して動的解析によって変形量を照査する。

図－2.12.2　固化処理土式係船岸の性能照査順序の例

2.12.3 構造部材の性能照査

(1) 矢板の性能照査

①壁面前面の矢板の性能照査については、**本章2.4 自立矢板式係船岸**を準用することができる。

②施工中においては、地盤が固化するまでの仮の土留め工として矢板を利用できる。なお、矢板直背後の固化処理に高圧噴射撹拌工法を用いることが多いが、撹拌してから固化するまで土は液体状になり、泥水圧程度の土圧となる。施工時の安定性照査では、この大きな土圧を考慮する必要がある。固化するまでは矢板頭部を連結したり、地盤改良の施工手順に配慮したり、入念な施工計画を立てる必要がある。

③供用後には、矢板は固化処理土の劣化防止工・防護工となる。このため、係船岸の設計供用期間中において、

矢板の性能を確保する必要がある。

④②③に示したように、矢板の利用目的を考え、適切に矢板の性能照査を行う。

⑤レベル1地震動に関する変動状態の照査においては、矢板と固化処理土が接触している範囲では、固化処理土から矢板への水圧（静水圧及び動水圧）の作用を考慮しなくてよい。その他の外力条件については、**本章2.4 自立矢板式係船岸**を準用することができる。また、照査用震度の特性値は、固化処理土に用いる値と等しいものとする。

⑥深く根入れした矢板は固化処理土下端の海側への動きを阻害するために、地震時において固化処理土が純粋な滑動破壊とならず、転倒破壊に近づく。転倒破壊が生じた場合、固化処理土の安定性は大きく低下して岸壁法線の変位も大きくなり、補修も難しい。このため、矢板の根入れは固化処理土の下端よりも浅くすることが望ましい。

(2) 上部工の性能照査

①矢板式係船岸のタイロッドとは異なり、コンクリートは引張力に弱いため、海側への矢板からの水平力に対して上部工の引張力で抵抗する設計は望ましくない。このため、矢板頂部に設置する上部工は、固化処理土上に設置する上部工とは別の構造部材とし、両者を切り離す等の対策が必要である。

②矢板頂部に取り付ける上部工の性能照査は**本章2.4 自立矢板式係船岸**を、固化処理土上に設置する上部工の性能照査は**本章2.2 重力式係船岸**を準用することができる。

③ **[作]第11章9摩擦係数**に示したコンクリート間の摩擦係数を参考として、固化処理土上に設置する上部工（コンクリート）と固化処理土の摩擦係数は$\mu = 0.5$を標準とする。摩擦力を高めるために、上部工底面にせん断キーを設けた事例[90]もある。

〔参考文献〕

1) 港湾工事に伴う水路測量の実施について,港建第61号,1972.
2) 日本港湾協会：港湾工事設計要覧, pp.215, 1959.
3) 宮崎茂一：繋船岸の築造限界について, 土木学会誌 Vol.36 No.8, pp.26〜27, 1951.
4) C. Zimmerman, H. Schwarze, N. Schulz, and S. Henkel: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 25/29 September, Rj, Brazil, pp.2437〜2451, 1995.
5) PIANC：Guidelines for the Design and Constructions of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles for Inland Waterways, Supplement to Bulletin No.57, 1987.
6) 高野向後・井山繁・坂田憲治・藤井敦・宮田正史・西岡悟史：港湾施設の点検診断結果を踏まえた維持管理における配慮事項に関する検討, 国総研資料, No.921, 2016.
7) 国土交通省港湾局：生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関するガイドライン, 2014.
8) 岸谷克己, 国重康宏, 平野智, 山下雅人：斜底面ケーソン式岸壁の設計法と特性について, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 1998.
9) 森田年一, 木村玄, 白水勝之, 田中英紀：斜底面ケーソン式岸壁の地震時挙動に関する一考察, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 1998.
10) 長尾毅, 岩田直樹, 藤村公宜, 森下倫明, 佐藤秀政, 尾崎竜三：レベル1地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法、国土技術政策総合研究所資料 No.310, 2006.
11) 長尾毅, 岩田直樹：重力式及び矢板式岸壁のレベル1地震動に対する耐震性能照査用震度の設定方法, 構造工学論文集, 2007.
12) 水産庁：漁港・漁場の施設の設計参考図書, 2015.
13) 古土井光昭, 片山猛雄：残留水位測定調査, 港湾技研資料 No.115, 1971.
14) 沿岸技術研究センター：L型ブロック係船岸技術マニュアル, 2006.
15) Kohama, E., Miura, K., Yoshida, N., Ohtsuka, N. and Kurita, S. : Instability of Gravity Type Quay Wall Induced by Liquefaction of Backfill during Earthquake, Soils and Foundations, Vol.38, No.4, pp.71-84, 1998.
16) 土田孝, 菊池喜昭, 福原哲夫, 輪湖建雄, 山村和弘：分割法による土圧算定法とその軽量地盤材料への適用, 港湾技研資料 No.924, 1999.
17) 北島昭一, 阪本浩, 岸正平, 中野拓治, 柿崎秀作：港湾構造物設計基準作成にあたっての諸問題点について, 港湾技研資料 No.30, pp.32〜43, 1967.
18) 川俣秀樹,竹信正寛,宮田正史：修正フェレニウス法を用いた円弧すべり照査のレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究, 国土技術政策総合研究所資料No.955, p.85, 2017.

19) 竹信正寛,西岡悟史,佐藤健彦,宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～、国土技術政策総合研究所資料No.880, 2015.
20) 松永康男,及川研,輪湖建雄：阪神・淡路大震災による重力式港湾構造物の基礎地盤部の変形, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.383-390, 1996.
21) Nakahara, T., Kohama, E. and Sugano, T.: Model shake table test on the seismic performance of gravity type quay wall with different foundation ground properties, 13 WCEE, 2004.
21-1) 日本道路協会：道路土工 擁壁工指針, pp.116～118, 2012.
22) 井合進, 松永康男, 亀岡知弘：Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, 港湾技術研究所報告 第29巻 第4号, pp.27～56, 1990.
23) Lysmar, J., Udaka,T., Tsai,C.F. and Seed, H.B.：FLUSH-A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered site, Report No.EERC 72-12, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1972.
24) Susumu IAI, Koji ICHII, Hanglong LIU and Toshikazu MORITA: Effective stress analyses of port structures, Special Issue of Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, pp.97～114, 1998.
25) ITASCA: FLAC - Fast Lagrangian Analysis of Contina, User's Manual, Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minnesota, 1995.
26) Cundall, P.A.: A computer model for simulating progressive, large scale movement in blocky rock system, Symp. ISRM, Nancy, France, Proc., Vol.2, pp.129～136, 1971.
27) Kanatani, M., Kawai, T. and Tochigi, H.: Prediction method on deformation behavior of caisson-type seawalls covered with armored embankment on man-made islands during earthquakes, Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol.41-6, 2001.
28) 井合進：Similitude for shaking table tests on soil-structure-fluid model in 1 g gravitational field, 港湾技術研究所報告 第27巻 第3号, pp.3～24, 1988.
29) 菅野高弘：「港湾・都市機能の耐震性に関する日米シンポジウム」～十勝港における実物大実験に関して～,震災予防, No.190, pp3～5, 2003.
30) 春日井康夫,南兼一郎,田中洋行：地盤の側方流動による港湾施設の変形予測, 港湾技研資料 No.726, 1992.
31) 鈴木雅次：港工学, 風間書房, p.474, 1955.
32) 尾崎竜三, 長尾毅：控え組杭の設置位置をパラメータとした矢板式岸壁の地震時挙動解析, 第60回土木学会年次学術講演会, 2005.
33) 久保浩一, 三枝富士男, 鈴木敦己：垂直控え杭の横抵抗について, 港湾技術研究所報告 Vol.4 No.2, 1965.
34) 石井靖丸訳：チェボタリオフの土質工学（上巻）, 技報堂, p.308, 1964.
35) P.W. Rowe: Anchored sheet pile walls, Proc. of I.C.E., Vol.1 Pt.1., 1955.
36) 荒井秀夫,横井聡之,古部哲兵：矢板壁の耐振性に関する研究 第2報,第2回港湾技術研究所研究発表会講演概要, p.73, 1964.
37) 荒井秀夫, 横井聡之：矢板壁の耐振性に関する研究第3報, 第3回港湾技術研究所研究発表会講演概要, p.100, 1965.
38) 沢田源平：斜面をもった矢板根入れ部の受働土圧計算法, 港湾技研資料 No.9, 1964.
39) 石井靖丸訳：チェボタリオフの土質工学（下巻）, 技報堂, p.192, 1964.
40) P. W. Rowe: A theoretical and experimental analysis of sheet-pile walls, Proc. of I.C.E., Vol.4 Pt.1., 1955.
41) 石黒健,白石基雄,海輪博之：鋼矢板工法（上）, 山海堂, p.95, 1982.
42) 高橋邦夫,菊池喜昭,石黒健：タイロッド式矢板壁の力学挙動の解析,土木学会構造工学論文集 Vol.42A, p.1195, 1996.
43) 高橋邦夫,菊池喜昭,朝木祐次：タイロッド式矢板壁の力学挙動の解析,港湾技研資料 No.756, 1993.
44) 高橋邦夫,石黒健：横荷重を受ける杭と矢板の縦梁解法,山海堂, pp.177～183, 1992.
45) Terzaghi: Evaluation of coefficients of subgrade Reaction, Geotechnique, Vol.5, pp.297～326, 1955.
46) Tschbotarioff: Large scale earth pressure tests with model flexible bulkheads, Princeton Univ., 1949.
47) テルツァギィ・ペック（星埜和ら訳）：土質力学応用編, 丸善, p.192, 1970.
48) 森川嘉之, 菊池喜昭, 水谷崇亮：既存矢板壁に対する控え工増設の補強効果とその評価法の開発, 港湾空港技術研究所報告, Vol.50, no.4, 2011.
49) 水野健太, 土田孝：矢板のすべり抵抗を考慮した安定解析手法, 構造工学論文集, Vol48A, pp.1441-1452, 2002.
50) 松原弘晃, 竹信正寛, 宮田正史, 渡部要一：控え矢板式係船岸の永続状態における レベル1信頼性設計法に関する基礎的研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.956, 2017.
51) 赤塚雄三, 浅岡邦一：高張力タイロッドの実験的研究, 港湾技術研究所報告 Vol.7 No.8, pp.135～167, 1968.
52) 三橋郁雄：有限要素法による水平方向地盤反力係数の推定（2次元K値）,港湾技研資料 No.219, 1975.
53) 片山猛雄,中野拓治,蓮見隆,山口孝市：1968年十勝沖地震などの被災例による現行設計法の検討, 港湾技研資料 No.93, pp.89～98, p.136, 1969.
54) 運輸省港湾局, 運輸省第一港湾建設局, 運輸省港湾技術研究所：新潟地震港湾被害報告書 第1部, p.101, 1964.
55) 日本港湾協会：鋼矢板施工指針, 1969.
56) 大矢陽介,塩崎禎郎,小濱英司,川端雄一郎：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案, 港湾空港技術研究所報告, Vol.56, No.2,pp.3-33, 2017.

57) 塩崎禎郎,大矢陽介,小濱英司：局部座屈を考慮した高強度鋼管杭のM－φ関係について, 第37回地震工学研究発表会講演論文集, 講演番号A12-1242, 2017.
58) 築地健太朗, 田川辰也, 長尾毅：レベル1 地震動に対する自立矢板式および二重矢板式係船岸の耐震性能照査用震度の設定手法,国総研資料No.454, 2008.
59) 塩崎禎郎,田中隆太,相和明男,大槻貢：自立矢板式係船岸の鋼管矢板に生じる二次応力の設計法について,土木学会第70回年次学術講演会,VI-202, p.403～404, 2015.
60) 石黒健, 白石基雄, 海輪博之：鋼矢板工法（上）, 山海堂, pp.297～328, 1982.
61) 大島実, 杉山道彦：斜控グイ式矢板壁の設計法について, 土と基礎 Vol.13 No.3, pp.11～18, 1965.
62) 石綿知治, 石黒健, 樋口靖明：斜控杭式矢板壁とその挙動測定, 富士製鉄技報 Vol.13 No.4, pp.73～87, 1964.
63) 塩崎禎郎, 乙志和孝, 相和明男：前方斜杭式桟橋（土留め一体構造）のレベル1地震動に対する耐震設計法, 土木学会論文集A1（構造・地震工学）, Vol.70, No.4,pp. Ⅰ_407～418, 2014.
64) 菅野高弘 , 塩崎禎郎, 池上正春：前方斜杭式桟橋（土留め一体構造）と免震コンテナクレーンの地震時挙動に関する模型振動実験, 土と基礎, Vol.51, No.3, pp.22～24, 2003.
65) Sawaguchi, M.: Lateral Behavior of a Double Sheet Pile Wall Structure, Soils and Foundations, Vol.14 No.1, pp.45～59, 1974.
66) 大堀晃一, 荘司喜博, 高橋邦夫, 上田寛, 原道秀, 川井豊, 塩田啓介：二重矢板式構造物の力学特性に関する研究, 港湾技術研究所報告 Vol.23 No.1, pp.103～151, 1984.
67) 海岸保全施設技術委員会：海岸保全施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 2004.
68) 日本道路協会：道路土工 仮設構造物工指針, pp.76～87, 1999.
69) G. P. Tschebotarioff, F. R. Ward: Measurements with Wicgmann Inclinometer on Five Sheet Pile Bulkheads, 4th Intern. Conf. Soil Mech. and Foundation Eng., Vol.2, 1957.
70) Edited by G. A. Leonards: Foundation Engineering, Mc Graw Hill Book Co., pp.514, 1962.
71) 高橋邦男, 野田節男, 神田勝巳, 三浦聡, 水谷太作, 寺崎滋樹：鋼矢板セル模型の水平載荷実験－その1静的挙動, 港湾技研資料 No.638, 1989.
72) 野田節男, 高橋邦男, 神田勝巳, 寺崎滋樹, 三浦聡, 水谷太作：鋼矢板セル模型の水平載荷実験－その2動的挙動, 港湾技研資料 No.639, 1989.
73) 北島昭一, 野田節男, 中山種清：根入れ鋼板セルの静的挙動, 港湾技研資料 No.375, 1981.
74) 野田節男, 北沢壮介, 飯田毅, 森信夫, 田淵博：根入れ鋼板セルの耐震性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告 Vol.21 No.2, 1982.
75) 柴田大介, 長尾毅：レベル1地震動に対する根入れセル式岸壁の耐震性能照査用震度の設定方法, 国総研資料No.562, 2010.
76) 横山幸満：鋼杭の設計と施工, 山海堂, pp.95～96, 1963.
77) 吉田巌, 吉中竜之進：明石層及び神戸層の工学的性質について, 土木技術研究所報告 Vol.129, 1966.
78) 吉田巌, 足立義雄：ケーソン基礎の静的水平抵抗に関する実験的研究, 土木技術研究所報告 Vol.139, pp.24～25, 1970.
79) 長尾毅, 北村卓也：セル式岸壁の最適断面設定方法に関する研究, 海洋開発論文集 第20巻, pp.203～208, 2004.
80) 住谷圭一, 長尾毅：セル式岸壁の根入れが耐震性能に与える影響に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No.352, 2006.
81) 野田節男, 北沢壮介, 飯田毅, 森信夫, 田淵博：根入れ鋼板セルの耐震性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告 Vol.21 No.2, pp.147, 1982.
82) 菅野高広, 北村卓也, 森田年一, 由井洋三：鋼板セルの地震時挙動に関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1867～1872, 1998.
83) 佐藤成, 竹信正寛, 小濱英司, 清宮理：鋼板セル式岸壁の地震時挙動に関する研究, 土木学会論文集A1, pp. 190-209, 2014.
84) 才村幸生, 森本精洋, 高瀬幸紀：根入れ鋼板セル中詰土圧の現場計測結果, 土木学会第36回年次学術講演会講演概要第3部, pp.562～563, 1981.
85) 伊藤義博, 飯村修, 後藤雅行, 城江利彦, 飯田毅：根入れ鋼板セルの施工について, 住友金属, Vol.34, No.2, pp.93～105, 1982.
86) 運輸省港湾技術研究所, 運輸省第三港湾建設局, 川崎製鉄K.K.：鋼板セル試験報告書, 1966.
87) 時川和夫：直立消波岸壁の反射率に関する実験的研究（第1報）, 第21回海岸工学講演会論文集, pp.409～415, 1974.
88) 谷本勝利, 原中祐人, 高橋重雄, 小松和彦, 轟正彦, 大里睦男：各種ケーソン式混成堤の反射・越波及び波力特性に関する模型実験, 港湾技研資料 No.246, p.38, 1976.
89) 合田良実, 岸良安治：不規則波による低天端護岸の越波特性実験, 港湾技研資料 No.242, p.28, 1976.
90) 岩田尚晃, 宮原祐二, 山脇秀仁：既設構造物を考慮した耐震強化岸壁の整備, 中部地方整備局管内事業研究発表会, 国土交通省中部地方整備局, 6p., 2015.
91) 高橋英紀, 上野一彦, 河田雅也, 小西一生, 府川裕史, 和田眞郷, 竹内秀克, 徳永幸彦, 森川嘉之：セメント固化処理土による壁体を利用した岸壁構造の地震時挙動, 港湾空港技術研究所報告, Vol.63, No.1, pp.78～103, 2024.
92) CDM研究会：深層混合処理工法による岸壁構造 設計・施工マニュアル（案）（第2版）, CDM研究会, 111p., 2024.