

都市部港湾の海岸保全施設（自立矢板式護岸）の耐震対策

日本工営(株) ○江野翔紀
日本工営(株) 日下拓也
日本工営(株) 佐久間和弘
日本工営(株) 藤森修吾

論文要旨

本論文は、都市部の狭隘な港湾空間における水深-3mの既設自立矢板式護岸について、耐震対策の検討を行ったものである。対策工法は、①前面が河川、背面が道路という利用条件、②厚く深い液状化層を有する地盤条件を鑑み、地盤改良やグラウンドアンカー等を抽出し、二次元地震応答解析（FLIP）にて耐震性の検討を行った。結果、L2地震時の変形抑制、狭隘空間での施工性を踏まえ、グラウンドアンカー工法を最適工法として選定した。

キーワード：都市部港湾、耐震対策、グラウンドアンカー

まえがき

わが国では、沿岸部における津波被害を抑制するための事業の推進が加速している。南海トラフ巨大地震といった将来起こりうる可能性の高い地震および津波に対して、背後地を防護するための海岸保全施設（護岸・胸壁等）の役割は、重要性を増している。

一方で、防護対象の多い都市部の港湾においては、背後に人家が控えていたり、施工区域が限られていたりときまざまな制約を受けている。また、埋立地や河口といった比較的地盤が軟弱なところに巨大地震が作用した場合、液状化による地盤変位が発生し、その被害は広範囲となる。このような状況では施工性や経済性に一層の設計上の配慮が必要となる。

本論文では、都市部の狭隘な港湾空間かつ液状化層が厚く深い地盤条件における自立矢板式護岸の耐震対策の検討を行ったものである。

1. 設計対象箇所と現地の利用特性

設計対象箇所を図-1、現況断面図を図-2に示す。

設計対象である自立矢板式護岸は、都市部港湾湾奥の河口に位置している。護岸前面は河川区域であり、パラペット式の防潮堤背後地は、道路を挟み民地がある状況である。

防潮堤背後の道路は利用頻度が高く、拡幅が計画されており、これに伴い、現況の防潮堤は前出しが必要とされる。防潮堤前面の護岸水叩きにおいても歩行者や自転車の通行が多く、常時利用されている状況である。

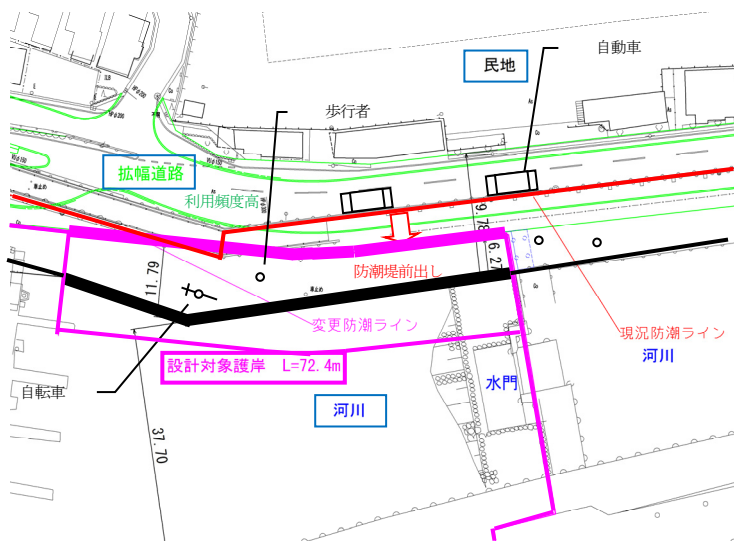


図-1 設計対象箇所位置図

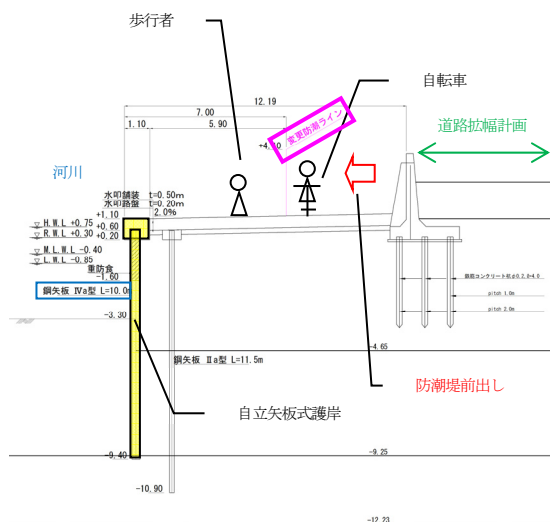


図-2 設計対象の現況断面図

現況の護岸構造は、水深-3m と比較的浅い自立矢板式護岸であり、護岸法線から新設する防潮堤までは 7m~12m 程度の離隔距離がある。

2. 設計条件

(1) 利用・自然条件

対象施設に対する利用・自然条件を表-1に示す。なお、自立矢板は、健全度評価の結果、所定の防食処理が行われており、今後の設計耐用期間での利用が可能な状態である。

表-1 利用・自然条件

条件項目	条件		備考
設計潮位	HWL +0.75m, LWL -0.85m		潮差 1.60m
残留水位	+0.30m		潮差の 2/3
設計水深	-3.3m		
設計高	護岸天端高 +1.10m	防潮堤天端高 +4.10m	
設計震度	0.27		L1 地震相当
上載荷重 (kN/m ²)	護岸背後 (永続)5.0 (L1 地震)2.5	防潮堤背後 (永続)10.0 (L1 地震)5.0	

(2) 地盤条件

地盤は、図-3に示すように沖積砂質土層と沖積粘性土層の互層構造である。

L1 地震動においては液状化が発生しないものと予測されるものの、最大クラスの津波を引き起こす地震動 (L2 地震動相当) では、二次元地震応答解析 (本検討では FLIP を採用) 結果より、過剰間隙水圧が上昇し、液状化を呈する状況となる。(図-3 過剰間隙水圧分布図参照)

液状化を呈する土層は B 層, As1 層, As2 層で層厚約 15m となる。また、護岸変状に最も影響を及ぼすと考えられる

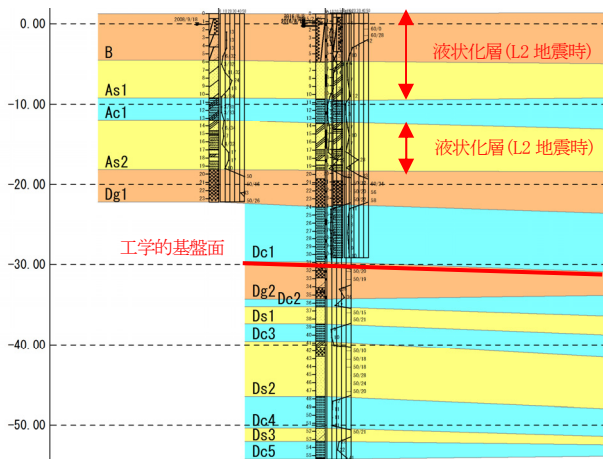


図-3 地質縦断面図と土質定数と L2 地震での試算結果

As2 層の出現深度は GL-20m と深いことが特徴的である。

(3) その他制約条件

現地の土地利用状況から、対策構造を検討するうえで、以下の制約を受ける。

- ・ 前面は河川区域であり、河道を侵さないこと。
- ・ 防潮堤背後は利用頻度の高い道路である。
- ・ 道路背後の民地境界を侵さないこと。
- ・ 防潮前面の護岸水叩きは、自転車等の往来があり、施工による封鎖期間はできるだけ短期間とすること。

(4) 性能規定値

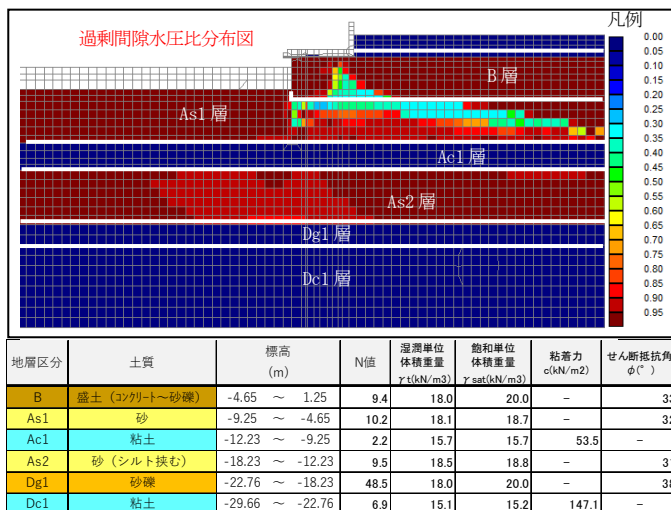
対象護岸および防潮堤は、最大クラスの津波を引き起こす地震動に対し、所定の安全性を満足する必要がある。当該箇所の性能規定値を表-2に示す。なお、このうち、二次元地震応答解析 (FLIP) における試算により、液状化による地盤と矢板の移動に伴う護岸天端の水平変位を規定値 (1.5m) 以内におさめる必要があることがわかった。

表-2 性能規定値

項目	性能規定値
天端高	沈下後の防潮堤天端高 > 発生頻度の高い津波の津波水位(+3.0m)
水平変位	1.5m 以内
残留傾斜角	8° 以内

3. 対策工の抽出

自立矢板式護岸の耐震対策を行う場合、地盤改良 (裏込土の置換や前面の固化)、構造改良 (新設矢板による法線前出しや控え杭) 等による対策が考えられる¹⁾。また、防潮堤のみに着目すると、重力式基礎直下の地盤改良や杭基礎等が考えられる。



本設計箇所は、護岸前面が河川であるため、新設矢板による法線前出し等の河積を阻害する対策は、採用できない。

また、護岸の既設矢板は、B層およびAs1層の液状化による流動圧の影響を大きく受け、前面地盤の受動抵抗が見込めない。加えて、矢板下端より深いAs2層が液状化するため、地盤全体が移動し、護岸は大きく前傾する。この護岸の変位を抑えるためには、液状化層全体(B層, As1層, As2層)を地盤改良する必要があるが、経済性および施工性の面で現実的ではない。したがって、液状化を許容した上で、護岸の変位を最小限に抑える事が重要な課題となる。

一方、防潮堤背後が道路および民地であることから、控え杭や控え矢板の新設、裏込土の置換等は、施工スペースが必要となり、供用期間に影響するため、対策案として除外した。

以上を踏まえ、対策案として、①グラウンドアンカー案、②地盤改良案の2ケースを抽出した。

①グラウンドアンカー案は、液状化層(B層, As1層, As2層)を許容した上で、非液状化層であるDg1層に定着

したグラウンドアンカーにより、護岸全体の変形を抑制する案である。一方、②地盤改良案は、護岸前面のAs1層を改良することにより、矢板の液状化流動圧抵抗を高め、護岸の変形を抑制する案である。

各ケースの構造概要を表-3に示す。なお、各断面は永続・変動状態において安定性を満足する断面として設定した。防潮堤については、施工の簡易な重力式とした。

4. 二次元地震応答解析 (FLIP) による検証

抽出した対策案の内、①グラウンドアンカー案について、二次元地震応答解析 (FLIP) より、耐震性能の検証を行った。変形図を図-4、残留変形量を表-4に示す。

グラウンドアンカーの張力により、護岸の矢板は沈下しているものの背後防潮堤は所定の高さおよび水平変形を満足している結果となった。

表-3 対策案

検討案	①グラウンドアンカー案	②地盤改良案
断面図		
構造概要	・現況自立矢板を利用し、グラウンドアンカーにて性能を満足させる案。アンカーは非液状化層に定着させる。	・地盤改良により前面矢板への受動土圧を増加させ、性能を満足させる案。
断面設定の留意点	・グラウンドアンカーの定着層は深いため、傾斜角は背後の民地境界を侵さないように設定する。	・改良範囲は、L2地震での液状化範囲全ては経済的でないため、前面範囲のみとする。
断面における○利点・×欠点	<p>【施工性】○：海上に施工スペースが必要となるが、施工機は小さいため、規模は法線前面に比較的小規模でよく、水叩きの封鎖期間および範囲は抑えることができる。</p> <p>【維持管理】○：前面からの張力の点検が可能である。</p>	<p>【施工性】×：海上に施工スペースが必要となり、グラウンドアンカー案同様、水叩きの封鎖期間および範囲は抑えることができるものの施工スペースは比較的広範囲に必要である。</p> <p>【維持管理】○：半恒久的な対策のため、維持管理においては優位である。</p>
選定	施工や維持管理において利点があるため、FLIPによる耐震性能評価を行う。	施工範囲が広がる可能性があり、経済性に懸念があるため、選定外とする

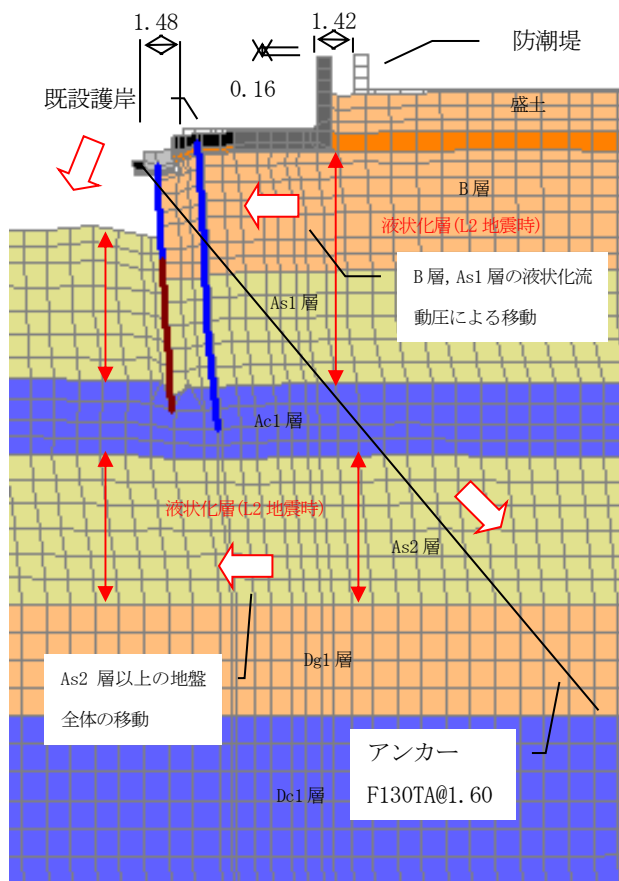


図-4 グラウンドアンカー案のFLIP結果(変形図)

表-4 グラウンドアンカー案のFLIP結果(残留変形量)

	水平変位(m)	天端高(m)	傾斜角(°)
護岸天端	1.48 < 1.50	-	3.1 < 8
防潮堤天端	1.42 < 1.50	3.53 > 3.0	0.5 < 8

5. 対策断面の決定と施工時の課題

二次元地震応答解析 (FLIP) の結果, グラウンドアンカー案は, 液状化層が厚く深い場合においても, 直下の非液状化層に定着させることにより, 変形量を抑えることができ, 耐震性能を確保できることを確認した。

設計対象箇所は, 護岸前面が河川区域であり, 背面は道路および民地が控えている。グラウンドアンカー案は, 施工スペースが比較的小規模で済み, 背後の利用状況への影響を抑えられることから, 陸上に制約がある場合において, 施工性は優位である。また, 定期的なモニタリングが可能なことから維持管理においても本設計箇所において優位であり, その他, 環境面への影響等も少ないため, 最適であると判断した。

ただし, グラウンドアンカーは, 定着範囲の確認等が施工時に必要であり, 防食対策についても留意する必要がある。

また, 本検討においては, 現況矢板を利用することができたため, 既存ストックを有効活用した対策案と位置づけられるものとする。

あ と が き

今後, 都市部の港湾海岸における耐震対策は加速していくものと考えられる。本検討と類似の設計箇所において, 施工性や地盤条件に配慮した断面設計の一助となれば幸いである。

参考文献(または引用文献)

- 菅野高弘, 野末康博, 塩崎禎郎, 小濱英司: 地震による岸壁の被災・復旧工法・耐震補強工法, 港湾空港技術研究所資料, No.1145, 2006.
- 吉田誠, 清宮理, 三藤正明, 田代聡一, 合田和哉: グラウンドアンカーで耐震補強した鋼矢板式岸壁の耐震性に関する振動台実験および有効応力解析, 構造工学論文集 Vol.57A, 土木学会, H.23.3, pp.63~74.