

既存岸壁の耐震強化に関する 新しい構造形式の提案

西川 丈博

関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所（〒221-0053 神奈川県横浜市神奈川区橋本町2-1-4）

首都圏の港湾物流を支える京浜港において、逼迫する首都直下型地震への対応として、緊急物資対応の耐震強化岸壁の整備が進められている。しかしながら、既存岸壁を耐震強化する場合、岸壁の供用が止まると、物流に大きな影響を及ぼす可能性があるため、供用しながら施工できる比較的高価な耐震強化工法を用いられることが多い。本稿では、既存の大水深岸壁をモデルケースとし、岸壁を供用しながら、より効率的かつ経済的に耐震強化する方法を検討した。栈橋直背後の護岸を掘り下げ、栈橋と護岸法線に離隔を与え、護岸からの土圧を軽減させることで、耐震性能を大幅に向上する新しい耐震強化方法を提案した。

キーワード 岸壁，地震応答解析，耐震設計

1. はじめに

首都圏の港湾物流を支える京浜港において、逼迫する首都直下型地震への対応として、緊急物資対応の耐震強化岸壁の整備が進められている。また、社会資本ストックの有効活用の観点から既存岸壁を活かした耐震強化が望まれている。しかしながら、既存岸壁を耐震強化する場合、岸壁の供用が止まると、物流に大きな影響を及ぼす可能性があるため、供用しながら施工できる比較的高価な耐震強化工法を用いられることが多い。さらに、大型コンテナ船が接岸可能な水深 15 メートルを超える大型の岸壁が、我が国の主要な国際港湾物流港湾である京浜港、名古屋港、阪神港などに計画・整備されているが、その数は多くないことから、供用しながらの施工要請が特に高い。このため、液状化する地盤領域が広い場合など、耐震強化に要する工費は多大となる。そこで、既存の岸壁をモデルケースとし、岸壁を供用しながら、より効率的かつ経済的に耐震強化する方法を検討した。

2. 調査の概要

既存のジャケット式栈橋構造の岸壁（図-1参照）を動的数値解析によって経済的に耐震強化する方法を検討した。耐震強化を施した数種の断面に対して、有限要素法

による動的数値解析を実施し、地盤の動的挙動を比較・検討した。また、それぞれの概算工費についても比較した。

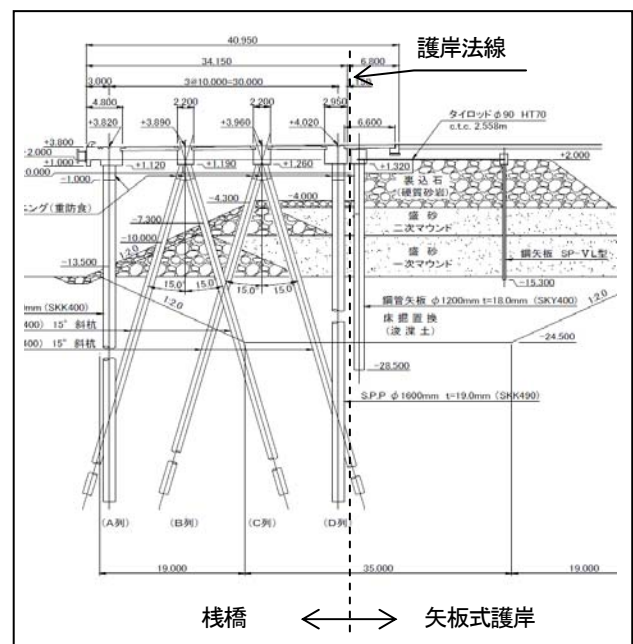


図-1 現況標準断面図

3. 検討対象地区におけるシナリオ地震波の特徴

対象地区のレベル2地震動（シナリオ波（対象地区で起こり得る最大級の地震動））（表-1参照）は、岸壁構造物の被害に大きな影響を与える0.5~1.0Hz付近の強度が大きい。また、隣接する他地区に比べて地震基盤~工学的基盤（図-2参照）の増幅率が大きいため、最大加速度は1.8~2.2倍、速度PSI値は1.24~1.32倍であり、大きな地震動となっている。

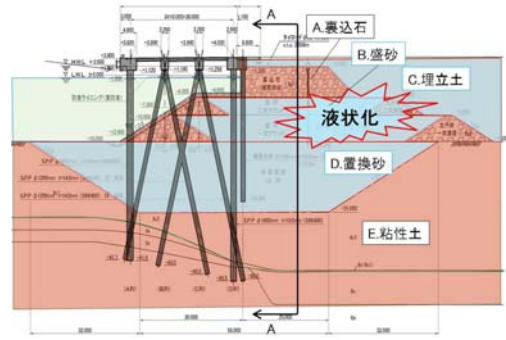


図-3 L2地震動による液状化層（縦断面図）

4. 既存施設の安定性の照査

耐震強化を行っていない現断面に対してレベル2地震動の来襲時での液状化判定を行ったところ、図-3、図-4に示すように広い範囲で地盤が液状化する結果となった。

構造物の主要箇所の残留水平変位量を求めたところ、組杭式栈橋の杭本体では杭先端部で変位量が小さく、基礎マウンド・置換砂部で大変形（最大で900cm以上）が生じていた（図-5、図-6参照）。これは、流動して変位量が大きい矢板式護岸が海側のジャケット栈橋に多大な外力を作用させたためと考えられる。

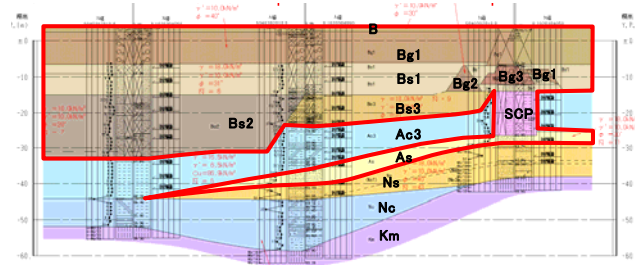


図-4 L2地震動による液状化層（縦断面図：A-A断面）

表-1 対象地区におけるレベル2地震動諸元

地震成分	当該ゾーン		隣接ゾーンA		標準（隣接ゾーンB）	
	最大加速度 (gal)	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	最大加速度 (gal)	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	最大加速度 (gal)	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})
L2地震動 EW	511.99	234.23	501.89	207.36	500.83	194.11
L2地震動 NS	862.41	256.18	457.39	207.36	394.00	194.11

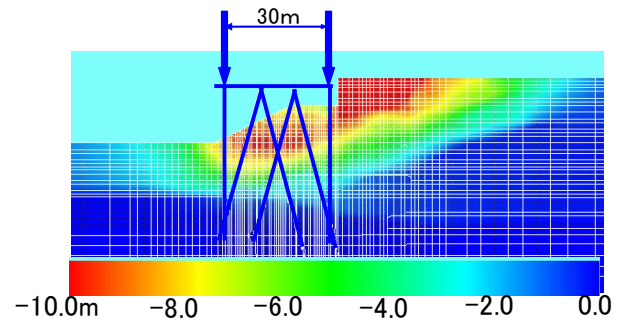


図-5 残留水平変位量

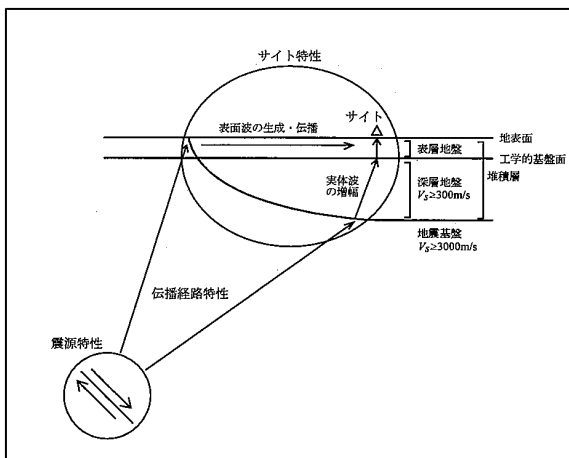


図-2 地震基盤・工学的基盤を伝播する地震動の模式図¹⁾

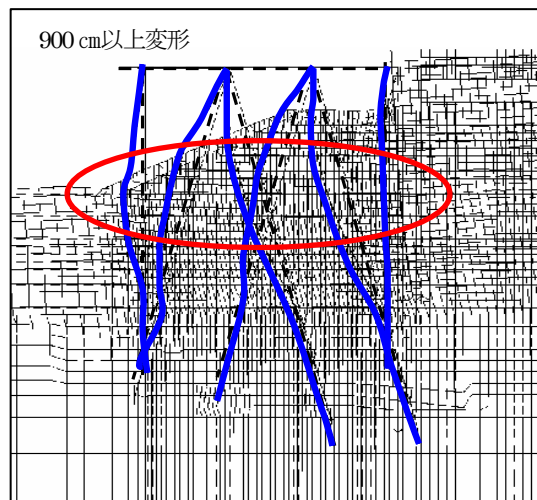


図-6 既設栈橋変形量

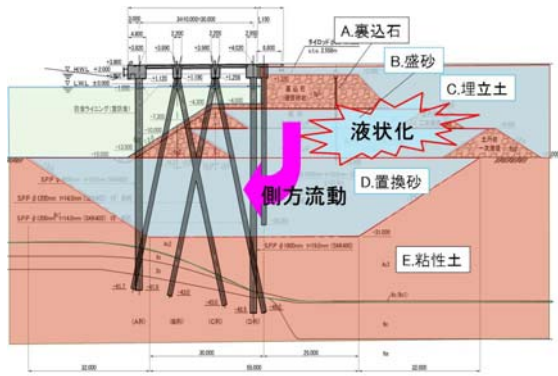


図-7 変形メカニズム模式図

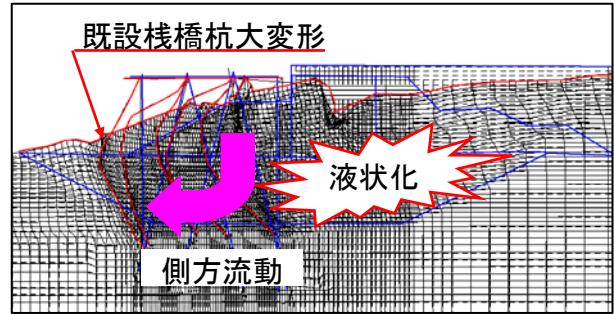


図-8 変形イメージ

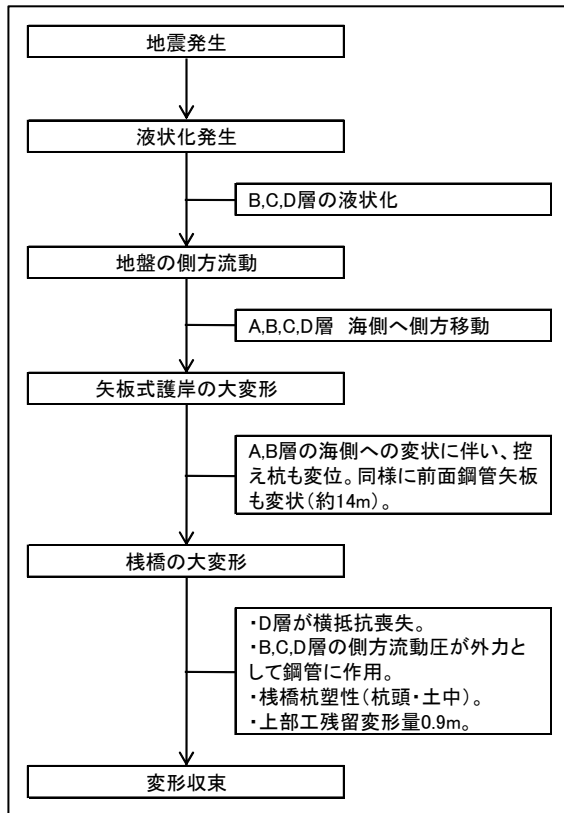


図-9 レベル2地震発生から変形収束までの過程

既存施設におけるレベル2地震発生から変形収束までの過程は図-7～図-9の通りであった。背後地盤で液状化が発生し、地盤が側方流動した。この流動圧によって矢板式護岸は大きく変形し、海側のジャケット式栈橋にも大変形を生じさせた。

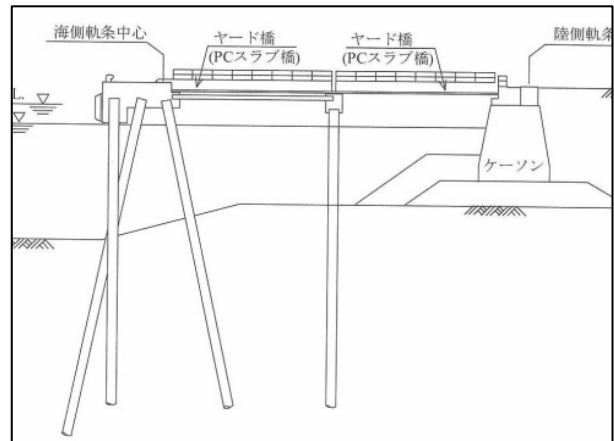


図-10 デタッチドピアの例²⁾

5. 耐震強化方法の検討

(1) 解析での検討ケース

耐震強化方法として、液状化やせん断ひずみが多い領域に対して供用を妨げない地盤改良を施したケース1、供用を一時中断して重力式構造物に構造を変更するケース2、栈橋直背後の護岸を掘り下げて栈橋と護岸法線に離隔を与えたケース3について検討を行った。ケース2は、耐震性の高い栈橋構造を再構築するよりも、重力式に構造を変更する方が経済的であるため検討対象とした。ケース3は、図-10に示すようなデタッチドピアを参考にしたもので、栈橋直背後の護岸を掘り下げ、栈橋と護岸法線に離隔を与え、護岸からの土圧を軽減させて耐震性を高める方法である。耐震強化を目的として、この方法が現場で採用された事例はなく、新たな経済的な耐震強化方法として有用と考えられる。

表-3 比較構造断面および概算工費（ケース3）

ケース	ケース3	
構造形式	デタッチトピア(水中ストラッド(既設)+ジャケット+地盤改良)	
断面図		
動的解析結果	最大過剰間隙水圧比分布	
	最大せん断ひずみ分布	
概算工費 (諸経費50%込み)	1 m 当たり	187,000 千円

(4) ケース3：提案する耐震強化

(3) でケース2が最も経済的な耐震強化方法であることを示したが、実際には供用を一時中断するのは困難な場合が多い。そこで、供用を妨げない経済的な耐震強化方法が望まれる。本業務では、図-10に示すようなデタッチトピアを参考に、栈橋と護岸法線に離隔を与えて耐震性を高める方法をケース3として提案した。表-3に示すように、既存ジャケット式栈橋の水中ストラッドによる補強、栈橋直下の基礎マウンドの撤去、栈橋背後地盤の掘り下げ、栈橋前面から背後にかけての地盤改良を組み

合わせることで、地震力に対する耐力を有することが確認された。ケース3の工費は、ケース1と同様に昼間の荷役作業に支障が出ないように夜間作業を前提に算定しており、ケース2の工費よりは高いものの、ケース1よりも大幅に低い結果となった。なお、表-3に示した工費には栈橋と護岸の離隔を補うための新設ジャケットの設置費を含んでいるが、この離隔を許容できる岸壁では、より経済的に耐震補強を行うことができる。

6. おわりに

既存岸壁の耐震強化方法として最もよく採用される方法は、液状化する地盤領域やせん断ひずみが大きな領域を全て地盤改良し、さらに構造自体を補強するものである。この方法による工費は非常に大きくなった。そこで、栈橋直背後の護岸を掘り下げ、栈橋と護岸法線に離隔を与えることで、耐震性能を大幅に向上する新しい耐震強化方法を提案した。この工費は、供用を一時中断して耐震強化する方法よりも不経済ではあるが、前者の耐震強化方法よりも大幅に工費を縮減できた。

課題としては、提案した構造形式を既存岸壁に適用する場合、施設背後のコンテナヤード部を70m程度の範囲で掘り下げるため、岸壁の供用を妨げないが利用を部分的に制限しなければならない。このため、占有面積 $A=70m \times 300m=21,000m^2$ の施工中の代替地を同コンテナヤード付近に確保する必要がある。コンテナヤードの管理者、利用者と十分に調整する必要がある。また、栈橋部の応答加速度が大きくなる傾向があり、コンテナクレーンの設計においては、栈橋とクレーンの動的相互作用を十分に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，p.336.
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，p.1143.