

薬液注入工法による液状化対策工法実態評価（茨城県鹿島地区） Post Tohoku Region Pacific Coast Earthquake evaluation of the efficiency of permeable chemical grouting carried out pre-earth- quake as a countermeasure to liquefaction

藤波 亘*
Takeshi Fujinami

畑 清隆**
Kiyotaka Hata

要 約

東日本大震災の大きな地震動を受けた茨城県鹿島地区における港湾施設の被災状況を報告する。本施設は、民間企業の荷役用に昭和 47 年に建設されたものであり、大型船舶の往来が頻繁な重要港湾施設として使用されている。平成 18 年に客先の依頼により同施設の耐震検討を実施した結果、岸壁および横棧橋が大規模地震時に所定の耐震性能を満足していないことが判明した。検討結果を受け、耐震補強工を実施した。

本報文は、当社提案・設計に基づき薬液注入工事によって液状化対策を実施していた岸壁と未実施の岸壁の被災の違いを明らかにすることにより、対策工の効果を検証するものである。今後、本報文が液状化対策など減災を求められる構造物に対する技術提案に供することを期待する。

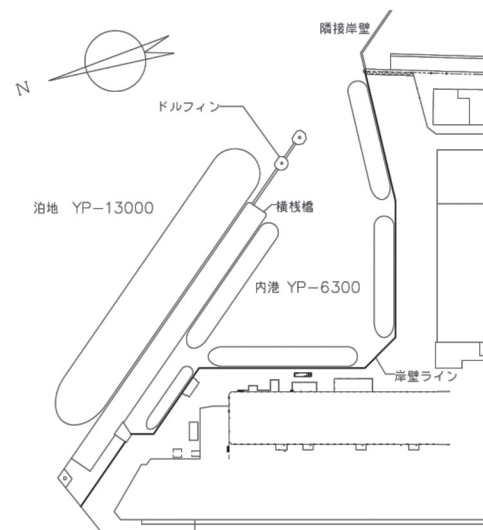
目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 液状化対策工法の概要
- § 3. 震災後の調査結果
- § 4. 隣接岸壁の被災状況
- § 5. 横棧橋の耐震補強概要
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

茨城県鹿島工業臨界地帯に位置する本港湾施設は、民間会社が所有する敷地内に延長約 400 m の矢板式岸壁とその前面の大型横棧橋とで構成されており（図一1）、大型船舶の往来が頻繁な重要港湾施設として使用されている（写真一1，2）。当該岸壁が構築されたのは昭和 47 年であり、供用後 40 年近くが経過している。平成 18 年当時、茨城県では南関東直下型地震の発生に対する切迫性が認められており、客先より同施設の耐震性に関する検討依頼があり、検討の結果、以下のことが判明した。

- 岸壁背面地盤の液状化発生に伴う側圧の増加により、岸壁の残留変形量が 30 cm 以上発生することが確認された（港湾基準の供用制限値は 20 cm～30 cm）。このことから、岸壁の耐震性に問題があることが確認された。



図一1 施設平面図



写真一1 矢板式岸壁

* 土木設計部土木リニューアル課

** 関東土木（支）船橋（出）

○横桟橋に関しては、現況での地震時保有水平耐力以上の水平荷重が作用するため、上部工および桟橋杭に生じる損傷は甚大であることが判明した。

上記の結果を受け、各々耐震補強工の提案を行い、工事を実施している。

本報文は、このうち当社提案・設計に基づき薬液注入工事によって液状化対策を実施していた岸壁と隣接する未実施の岸壁の被災の違いを明らかにすることにより、対策工の効果を検証した結果を報告する。

§ 2. 液状化対策工法の概要

本岸壁は、控式鋼矢板岸壁であり、標準断面は図一2に示す通りである。

岸壁背面の土層構成を以下に示す。

- ・掘込み岸壁として構築されているため、GL-3.5 mの比較的浅い深度にN値25以上の洪積層が存在する。

- ・洪積層の上部には、N値2の緩い砂層（埋土層）が3.5 mあり、地下水位はこの砂層内に存在する。

耐震検討の結果、上部の砂層（埋土層）は地震時に液状化に至る可能性が高いことが確認された。そこで、図一3に示す範囲を薬液注入工法（浸透固化処理工法）により改良する対策工を提案し、施工を行っている。

図一3の対策工の実施により、解析結果では岸壁の残留変位量が約19 cmに低減され、これは港湾基準が示す供用可能値（0 cm～20 cm）を満足するものとなった。また、この他に岸壁構造部材の応力状態や、レベル1地震時に対する健全性を確認し、提案した液状化対策工の妥当性を確認している。

§ 3. 震災後の調査結果

3-1 調査内容

東日本大震災により本施設も被災し、震災後すぐに調査を実施した。茨城県鹿島地区の震度は6弱であり、鹿島港での津波の高さについては、気象庁が設置していた津波観測機器が津波により流されたため不明であるものの、聞き取り調査の結果、4～5 m程度であった。

調査対象は、桟橋、ムアリングドルフィン、控式鋼矢板岸壁および岸壁背面とし、以下の調査を実施した。

① 外観目視調査：各施設の目視調査を実施し、被災状況をまとめた。

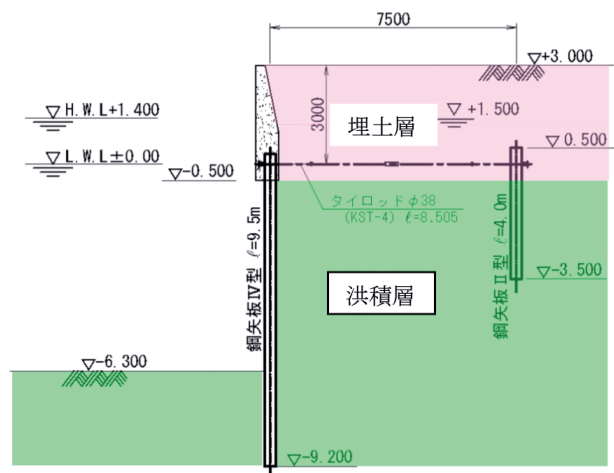
② 潜水目視調査：桟橋鋼管杭、控式鋼矢板岸壁を対象とし、潜水士による目視調査を実施した。

③ 岸壁頭部変形量測定：岸壁頭部の平面位置を測量し、液状化対策工事終了時の位置と比較することで頭部変形量を算出した。

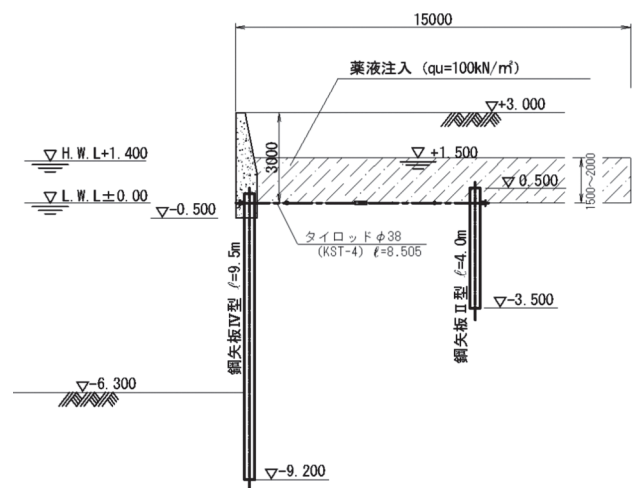
④ 深浅測量：桟橋鋼管杭、控式鋼矢板岸壁位置にて海底面のレベルを測量した。



写真一2 岸壁前面の大型桟橋



図一2 現況矢板式岸壁標準断面図



図一3 液状化対策工標準断面図

3-2 調査結果

左記①～④の調査に関して、岸壁部分に関する調査結果を以下にまとめる。

(1) 外観目視・潜水目視調査結果

- ・部分的岸壁頭部が海側へ傾斜しているものの（写真一3）、ほとんどの部分は大きな変状が見受けられなかった。

- ・部分的に岸壁背面が沈下している。
- ・岸壁背面のAs舗装にクラック，段差が生じている部分がある（写真－4）。
- ・潜水目視調査結果では，鋼矢板岸壁に特別な損傷は見られなかった。

(2) 岸壁頭部変形量測定

写真－3の岸壁において，最大で64 mm程度海側に変形していることが確認された。その他の岸壁は，0～40 mm程度の変形量であった。

(3) 深浅測量結果

横棧橋の鋼管杭周辺地盤が部分的に沈下していることが確認されたものの，岸壁前面の海底面は，全て設計海底面以上のレベルを確保していることを確認した。

以上のように，液状化対策工を実施した岸壁に関しては，液状化の発生も認められず，また特に大きな損傷もないことから，被災程度が軽微であったと言える。

また，岸壁頭部変形量も調査の結果最大6 cm程度であり，港湾基準上の供用可能範囲であること，潜水調査により，鋼矢板に損傷がないことや前面地盤の状況等も確認しており，岸壁の供用に問題はないと判断した。

ただし，客先工場の敷地内で液状化対策工が未施工の範囲では，液状化の発生が認められた（写真－5）。当該箇所は，岸壁より離れた部分であり，液状化が生じた場合でも岸壁構造に影響を与えない範囲として対策工を施工しなかった範囲である。

写真の通り，液状化対策工未施工部分のAs舗装にはクラックが生じており，地盤の沈下も見受けられることから，液状化が生じたと考えられる。一方，液状化対策工施工範囲はまったく被害がなく，液状化対策工の効果が明確に表れている。

§ 4. 隣接岸壁の被災状況

本港湾施設に隣接して公共岸壁があり，岸壁構造の詳細は不明であるものの，ケーソン式の岸壁が設置されている。前述した調査時に確認したところ，以下の状況が確認された。

- ・ケーソン岸壁が大きく沈下し，前面に傾斜している（写真－6）。
- ・ケーソン岸壁背面は，沈下が著しく，As舗装にはクラックが多く発生している。また設置された手摺は，大きく波打った状況である（写真－7）。

当該箇所は，津波による影響で填砂等，液状化後の状況が見受けられないものの，被災状況から液状化が生じたと考えられる。

液状化対策工施工範囲と未施工範囲（公共岸壁部）との境界部分の状況を写真－8に示す。写真－8にて明らかなように，対策工未施工の範囲は液状化が生じており，岸壁背面の地盤が沈下し，コンクリート舗装に亀裂が生じている。一方，液状化対策工施工範囲は，被害はなく，



写真－3 岸壁頭部変形状況



写真－4 岸壁背面 As 舗装クラック



写真－5 岸壁背面被災状況



写真－6 ケーソン岸壁被災状況

コンクリート舗装は健全な状態である。

以上より、岸壁の耐震補強として提案・設計した薬液注入工法による液状化対策工の効果が実際の大規模地震により確認および検証できたと考える。

§ 5. 横棧橋の耐震補強概要

本港湾施設の中の横棧橋は、材料の搬入のため年間を通して大型船舶の往来が頻繁にある重要な施設である。本横棧橋の上部には、写真-2 に示すように大型のアンローダーが設置されており、トップヘビーとなっている。前述の通り、本横棧橋の耐震性の検討を実施したところ、特に鋼管杭の被害が著しい結果が得られたため、鋼管杭の損傷防止を目的とし、図-4 に示すようなプレス材による補強を提案し、工事を実施している。

東日本大震災後に実施した調査結果を以下に示す。

- ・外観目視調査では、津波による漂流物等の衝突による上部工の一部に軽微な損傷が見受けられたものの、構造上問題となるような損傷はなかった。
- ・潜水目視調査では、鋼管杭、プレス材および各々の接合部に損傷のないことを確認した。

上記の通り、横棧橋に関しても構造的に問題となるような損傷はなく、供用に問題はなかった。

§ 6. おわりに

今回の事例は、実構造物にて実際の大規模地震による液状化対策工の効果が検証された大変貴重ものであり、これほどまでに対策工の効果が明確となった事例もあまりないと思われる。

今後、企業のBCP計画等で耐震性確保のための液状化対策工を含む耐震補強工事の需要は増加するものと予想され、民間の発注工事にこのような耐震補強工事の比率が増加すると考えられる。その際、工事受注のためには、客先に信頼される技術力は非常に重要となり、実事例を含めた技術提案は有効であると考えられる。本事例がそのような技術提案の参考となれば幸いである。



写真-7 ケーソン岸壁背面地盤沈下状況

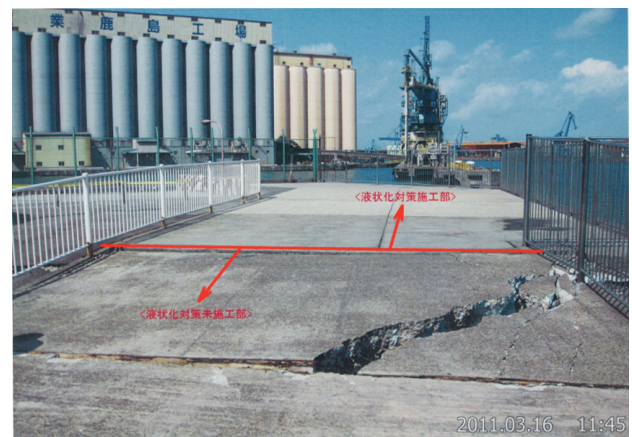


写真-8 岸壁背面被災状況

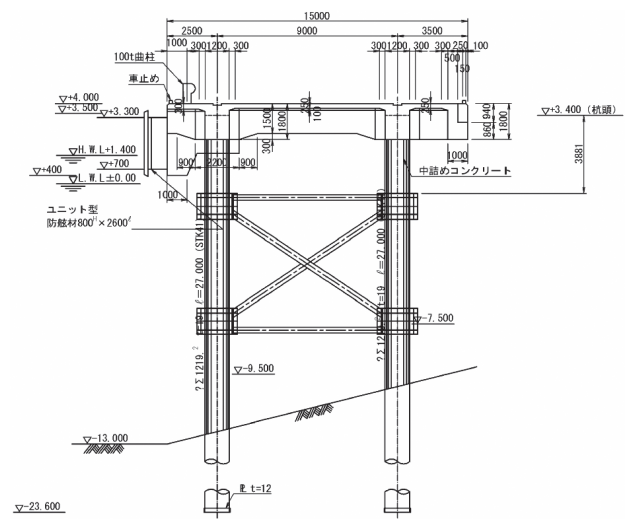


図-4 横棧橋耐震補強標準断面図