

港湾における液状化対策技術の現状と動向(2)

—対策の効果と対策技術の動向—

山崎浩之

Hiroyuki YAMAZAKI

正会員 運輸省港湾技術研究所 土質部 動土質研究室長

港湾施設の液状化対策技術の現状と動向を前号と本号の2回に分けて報告している。前号では港湾における液状化対策の考え方、一般的に用いられている液状化対策工法、特殊なケースでの対策を紹介し、

液状化対策の現状を述べた。本号では、実際の地震での効果の事例を紹介し、港湾における液状化対策技術の動向、運輸省で実施している民間技術評価制度で評価された工法について紹介する。

液状化対策の効果

液状化対策は多くの港湾施設で実施されて地震を経験してきており、締固め工法については1978年宮城県沖地震で実際の効果が確認された。間隙水圧消散工法と固結工法については1993年釧路沖地震と1994年北海道東方沖地震において、釧路港でその効果が確認された。ここでは、1994年北海道東方沖地震での事例¹⁾について紹介する。

釧路港西港区第2埠頭地区南側岸壁では、1993年釧路沖地震での復旧工事において液状化対策として、図-1に示すようにケーソン背後の裏埋め部に固結工法(深層混合処理工法)と、さらにその背後に間隙水圧消散工法(グラベルドレーン工法)が採用された。深層混合処理工法が採用された範囲にはベルトコンベアがあり、グラベルドレーンの施工が不可能なことから、施工可能な同工法が採用された。

施工後、1994年北海道東方沖地震が発生し、その時の岸壁背後の状況が写真-1と写真-2で、写真-1はグラベルドレーンにより液状化対策がなされたところで全く変状が見られない。深層混合処理された部分も同様であった。写真-2はグラベルドレーン施工箇所背後の無対策部分であるが、噴砂や亀裂が見られた。両者の比較から2つの工法の液状化対策効果が確認された。

注目すべき動向

サンドコンパクションパイル工法に代表される締固め工法は最も普及した液状化対策工法であるが、振動・騒音が大きいのが欠点で、構造物の近くで使用すると悪影響が懸念される。振動・騒音は動的な荷重を与えて締固めを行うために発生するもので、この点を改良したものが最近開発され実用化されている。改良のポイントは動的な荷重を与えるのではなく、静的に地盤に圧縮力を加

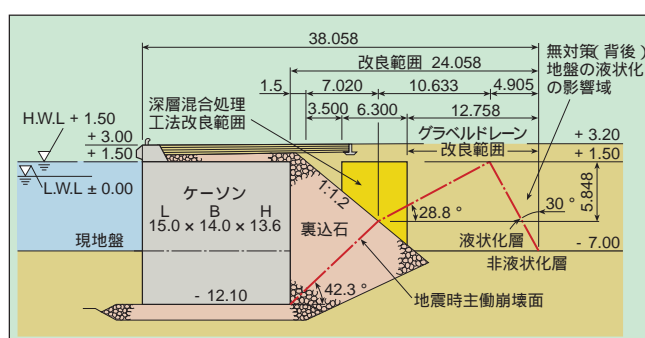


図-1 対策断面



写真-1 対策位置



写真-2 無対策位置

えて締固めるところである．静的な締固めの方法には，砂杭を地盤内に静的に圧入拡径する方法や地盤内にモルタルを圧入固化する方法が開発されている．このような方法で，従来の動的な工法と同程度の締固め効果があることが，現場のN値の計測で確認されている．従来から砂質地盤が締固まるのは振動や衝撃の効果が大きいと思われていただけに静的に締固めるといのは発想の転換を迫るものがある．図-2には静的な締固め工法による振動レベルの計測値の一例を示すが，サンドコンパクションパイル工法などの動的な締固め工法と比較して大幅に低減されていることがわかる．締固め工法は前号で報告したようにシアの大きい対策技術だけに，騒音・振動問題が解決された静的な締固め工法の動向は非常に注目される．

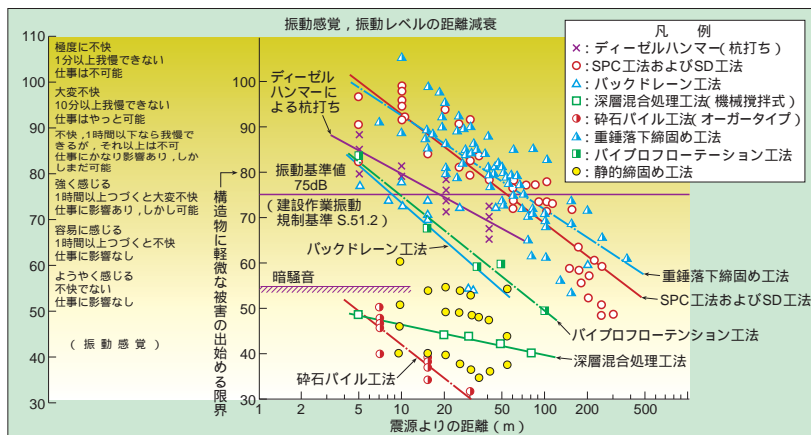


図-2 SCP工法など他工法との振動レベルの比較

やや意外な動向

薬液注入工法が液状化対策に使われ始めている．薬液注入は局所的な使用，仮設的な使用，費用が高いなどの認識から，液状化対策には最も不向きな工法のようなであった．しかしながら，恒久型薬液の採用，低強度・低濃度化，施工法の改良，などにより恒久的な使用，低廉化，広範囲な使用をはかり，液状化対策用の薬液注入工法が開発された．写真-3にこのように固結改良された地盤の掘起こし調査結果を示す．しかし，それでも既存の工法と比較するとやはりコストが高いなどの欠点があり，液状化対策には不向きで普及・採用は難しいと思われた．ところが，既設構造物直下地盤の対策ができるという大きな特徴，プラントがコンパクトでピンポイント改良には有利ということから，既存技術では困難な既設構造物直下地盤や，重要な部分に対する液状化対策工法として採用され始めており，やや意外な動向である．



写真-3 掘起こし調査による改良体の確認状況

課せられた動向

持続的発展ということから，環境負荷低減，建設コストの縮減が社会的に求められている．環境負荷低減と建設コストの縮減は相反するところがあるが，これら2つをうまくバランスさせることが持続的発展につながる．

環境負荷低減については，リサイクルの推進が進められており，液状化対策技術にも反映され始めている．具体的には，締固め工法の補給砂にコンクリートガラや建設発生土を使用する工法が開発されている．また，浚渫土にセメントなどの安定材を混ぜて埋立てを行う工法が開発されており，埋立て後には固結するので液状化対策

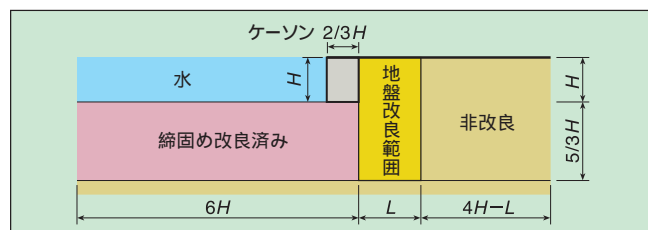


図-3 ケーソン背後の地盤改良範囲の概念図

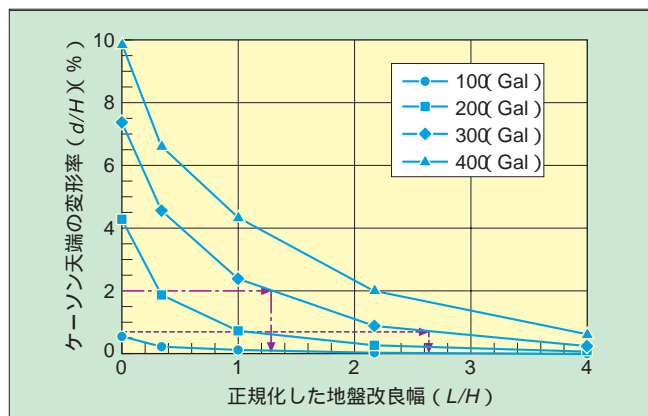


図-4 地盤改良範囲とケーソン天端の残留水平変位の関係

は不要となる．これらの工法は港湾工事で採用され始めており，多少コストが高くてもしっかりと採用・普及される

表-1 (a) 供用の観点からの岸壁の変形量の目安

被災変形量：最大はらみ出し量または最大エプロン沈下量				
構造形式	重力式係船岸		矢板式係船岸	
岸壁水深	- 7.5 m 以上	- 7.5 m 未満	- 7.5 m 以上	- 7.5 m 未満
供用可能	0 ~ 30 cm	0 ~ 20 cm	0 ~ 30 cm	0 ~ 20 cm
供用制限	30 ~ 100 cm	20 ~ 50 cm	30 ~ 50 cm	20 ~ 30 cm

べきである。

建設コストの縮減については、工法をハード的に効率（例えば締固めの効率）化するのは当然であるが、設計法に内在している安全しろの見直しも必要といえる。一例を示すと、締固め工法の管理は N 値で行われているが、締固め後の地盤の液状化抵抗は N 値で評価される以上に高くなっていることが指摘されており、このような点の研究・見直しが必要である。

ハイレベルな液状化対策の設計技術の動向

数値解析技術の発展から、液状化した地盤の変形解析が可能となってきており、やみくもに液状化対策するのではなく許容変形量など、施設の機能を十分に考慮した効果的な液状化対策も可能となってきている。このような観点から、許容変形を考慮に入れて液状化対策範囲の検討を行った例を紹介する²⁾。図-3 が解析対象の断面で FLIP とよばれるプログラムで数値解析が行われた。図-4 は地盤改良幅とケーソン天端の変形量について基盤加速度を変化させパラメータ解析を行った結果である。 L 、 d は図-3 に示されたように、岸壁背後の地盤改良範囲、天端の残留水平変位で、それぞれ岸壁高さ H で正規化されている。なお、図-4 の変位の解析結果は検討対象の地盤条件などにより大幅に変化する。ここで、例えば $H = 10$ m として、基盤加速度 300 Gal、許容変位量を $d = 5$ cm と設定すると $d/H = 0.5$ % になり、地盤改良範囲は図-4 から $L/H = 2.6$ 程度、すなわち $L = 26$ m となる。許容変位量を $d = 20$ cm にすると $d/H = 2.0$ % になり、 $L/H = 1.3$ 程度、すなわち $L = 13$ m となり、大幅に地盤改良範囲を狭めることができる。この例から施設の機能等を考慮し許容変位を設計に導入すると、効率的な液状化対策ができることがわかる。実際に許容変位をどのように設定するかは難しいところがあり、レベル2 地震を対象とした耐震強化岸壁に関しては、表-1 のような変位が目安として示されている。このようなハイレベルな設計技術の動向の先に、より効果的な液状化対策がある。

運輸省の液状化対策技術に関する動向

運輸省では、技術の適切な普及・開発の促進を図り、

表-1 (b) 機能上の観点からの岸壁の変形量の上限の目安

構造物本体	エプロン全体の沈下量	20 ~ 30 cm
	傾斜	3 ~ 5 °
	法線の出入り	20 ~ 30 cm
エプロン	沈下 エプロン上の段差	3 ~ 10 cm
	エプロンと背後地の段差	30 ~ 70 cm
	傾斜 順勾配3 ~ 5 %、逆勾配0 %	

港湾の整備を円滑に図るための民間技術評価制度を設けている。平成 10 年度は液状化対策工法が特定課題となり新しく開発された工法が応募された。その中から 11 件の工法が評価された。評価された工法の多くは、既存工法の問題点を解決することを目的に開発されており、すでにかんりの実績を持った工法もある。これらの工法について前述の動向と関連させて紹介する。

締固め工法の騒音・振動を低減させたものとして、静的な機構による締固め工法が開発され、3 工法が評価された。地盤内に砂あるいは碎石を静的に圧入して砂杭・碎石杭を造成することにより地盤を締固めるもの、流動性の高いモルタルを地盤中に圧入し固結体を形成して地盤を締固めるもの、特殊生石灰をパイル状に充填しその後のパイルの吸水・膨張により地盤を締固めるものがある。

既設構造物下部地盤を対策する工法として、薬液注入固化工法に分類される浸透固化処理工法が開発されている。従来の仮設的・局所的な改良だったものを、液状化対策に適するように恒久的・広範囲（直径 4 m）な改良ができるように改良されたものである。

その他、締固め工法においては地下水を吸引しながら締固め中に発生する過剰間隙水圧を低下させ締固め効率を向上させたものや、砂杭の打設方法を改良したものである。固結工法においては改良体の作製方法を改良したもの、間隙水圧消散工法においてはドレーン材を改良したものである。これらはいずれもコスト縮減を目指したものと見える。

以上、2 号にわたって港湾における液状化対策技術の現状と動向について述べた。液状化は港湾においては特に重要な問題であり、既存の技術で検討と対策を進めるとともに、今後も研究・新しい対策技術の検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1 - 稲富隆昌他：1994年北海道東方沖地震による港湾施設被害報告、港湾技研資料No.856、pp.329 ~ 396、1997
- 2 - 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）、pp.285 ~ 293、1997