

既設構造物直下地盤の液状化対策—浸透固化処理工法—

A Method to Improve Liquefaction Resistance of Sandy Layers beneath Existing Structures

河村 健輔 (かわむら けんすけ)

五洋建設㈱技術研究所

山崎 浩之 (やまさき ひろゆき)

㈱港湾空港技術研究所地盤・構造部動土質研究室 室長

善 功 企 (ぜん こうき)

九州大学教授 大学院工学研究院

林 健太郎 (はやし けんたろう)

五洋建設㈱技術研究所 開発課長

1. はじめに

近年、既設の構造物を撤去することなく安価に維持補修する技術が望まれている。特に、1995年に発生した阪神大震災により、各機関の耐震基準等が見直され、耐震補強の重要性が増している。その中でも、構造物の基礎となる地盤の液状化は重要な問題であり、新設される構造物の多くはサンドコンパクションパイル工法などの液状化対策を実施している。しかし、既設の構造物直下の液状化対策は、対策するにも適切な工法が数少なく、従前は、あまり実施されていないのが現状である。著者らは、このような既設構造物直下の液状化対策を、構造物を撤去することなく施設を使用しながら施工が可能である、溶液型の恒久薬液を使用する浸透固化処理工法を開発した^{1),2)}。本工法は、1998年に東京国際空港試験工事で採用されてから現在までに約20件の工事で使用されている。本論文では、本工法の原理、特長を述べ、過去の代表的な2件の施工事例を紹介する。

2. 工法の概要

2.1 工法の原理

浸透固化処理工法は、耐久性の高い溶液型の水ガラス系薬液を、低圧力、低速度で砂質地盤に浸透注入し、地盤の土粒子間隙にある間隙水を薬液に置換し、その薬液がゲル状に固化することで地盤改良する工法である。すなわち、間隙水の特性を改良することで間隙水圧の発生を抑制する原理に基づいた液状化対策工法である。図-1にセメント固化処理土との改良原理の違いを示す。セメント固化処理土では、土粒子の接点のみがセメントにより固結され地盤が液状化しなくなるが、間隙水は残る。一方、浸透固化処理工法による改良土は、間隙水がほとんどゲル化されている。したがって、十分なゲル化が達成されていれば、地震が発生しても、いわゆる液状化時にみられる地盤が液体状になる現象は発生しない。

2.2 工法の特長

施工法は、従来の薬液注入工法と同様で、図-2に示すように地盤内にφ100 mm程度のボーリングを行い、注入管を建て込み、直接対策箇所に薬液を注入することが可能であるため、構造物直下地盤への適用が可能である。また、浸透性が高く、高い耐久性を有する薬液を使

用するため、従来の薬液注入工法と異なる点は、表-1に示すように、①一つの注入口からの改良体の大きさは最大で直径4 m程度が可能であること、②液状化対策が目的であるため、改良強度が $q_u=100 \text{ kN/m}^2$ 程度と低強度であること、③永久構造物として使用できることである。

口絵写真-9に直径2.5 mの改良体を施工し、試掘を

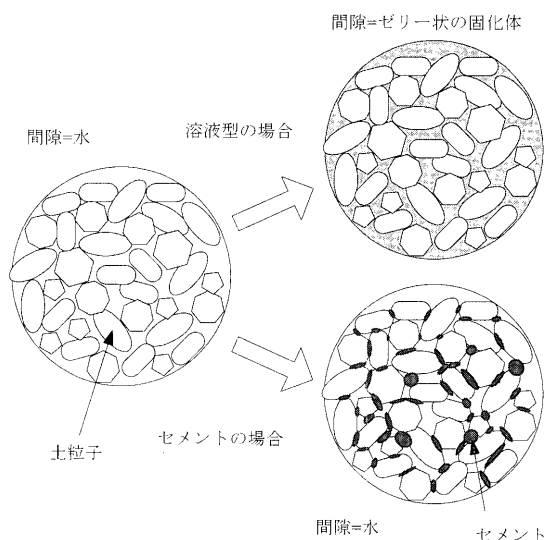


図-1 浸透固化処理工法の改良原理

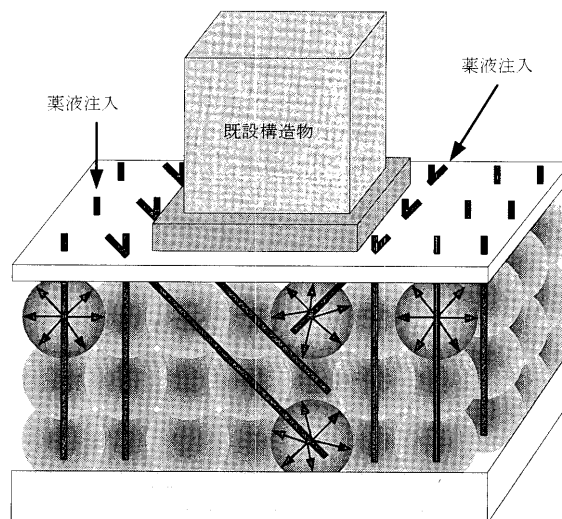


図-2 浸透固化処理工法の施工イメージ

論文

行った際の改良体の形状を示す。

3. 施工事例

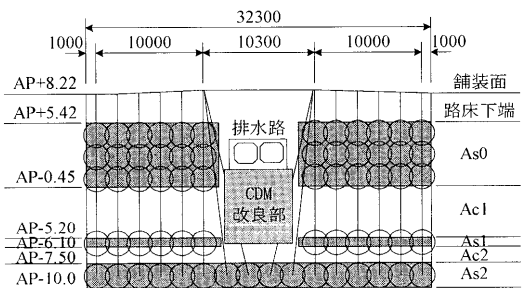
本工法は、現在までに、表—2に示すように、既設の滑走路直下地盤、港湾構造物における護岸、岸壁の背面地盤、地中構造物直下地盤、杭基礎建築構造物直下の地盤など、各種の施設で適用されている。本論文では、その中でも、特に既設の滑走路直下で適用された東京国際空港での施工事例、既設の矢板式岸壁背面で適用された石狩湾新港での施工事例について示す。

3.1 東京国際空港

本工事は、東京国際空港の新B滑走路と既設のA滑走路の交差部の液状化対策を目的として行われた。施工区域は、既設の滑走路として使用されており、また、地中部には排水路など多数の構造物があるため、構造物直下を施設を使用しながら施工することが可能である本工法が採用された。本工事では、事前に試験工事^{3),4)}を実施し、本工法の適用性が確認されている。表—3に本工事の施工仕様を、図—3に本工事の施工断面図を示す。原地盤の液状化判定および地震応答解析の結果、原地盤のうち砂質地盤であるAs0層とAs1層とAs2層が改良範囲と設定され、必要な液状化強度比は $R_{ck}=0.340$ となった。本工法における改良土の一軸圧縮強さと液状化強度比の関係から、本工事での目標改良強度は $q_{uck}=75\text{ kN/m}^2$ と設定された。

表—3 施工仕様（東京国際空港）

原地盤特性	土質	細砂～シルト混じり細砂
	$F_c(\%)$	0～40
施工数量	改良土量(m^3)	21 150
	注入量(m^3)	8 460
施工仕様	改良率($\%$)	100
	改良径(m)	2.48
	注入速度(l/min)	12.5
	改良目標強度(kN/m^2)	75
	使用薬液	エコシリカI（濃度5.5%）



図—3 施工断面図（東京国際空港）

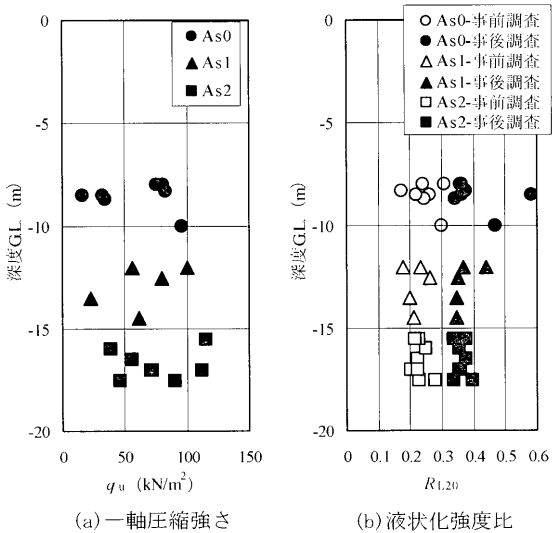
表—1 従来の薬液注入工法との比較

	従来工法	浸透固化処理工法
改良規模	局所的	大規模
改良体の直径	1m程度	最大4m
改良強度	200～1000 kN/m^2	50～100 kN/m^2
施工目的	仮設工事	永久構造物

表—2 施工事例

工事名称	対象構造物	改良目的	改良土量
東京国際空港新B滑走路地盤改良等工事(その11)	既設滑走路直下	液状化対策	21 150 m^3
S工業(株)千葉工場護岸補強第Ⅲ期工事	ローディングアーム直下	液状化対策	196 m^3
平成11年度石狩湾新港-10m岸壁改良(隅角部)工事	既設矢板岸壁	土圧低減 液状化対策	10 300 m^3
平成11年度港湾改修工事(その7)	江ノ島大橋橋脚・橋台直下	液状化対策 支持力増加	2 800 m^3
平成11年度石狩湾新港-10m岸壁(B部)改良外一連工事	既設矢板岸壁	土圧低減 液状化対策	9 500 m^3
西川第二排水機場新設工事	杭基礎建築構造物直下	液状化対策	1 400 m^3
平成12年度新潟港(西港地区)道路(トンネル)右岸陸上トンネル部地盤改良工事	沈埋トンネル直下	液状化対策	760 m^3
海岸整備事業(海岸保全施設)飛鳥地区液状化対策工事その1工事	ボックスカルバート直下	液状化対策	280 m^3
志布志港(若浜地区)岸壁(-12m)(改良)地盤改良工事	既設ケーソン岸壁	液状化対策 吸い出し防止	14 300 m^3

施工終了後の改良効果確認のために行われる事後調査の結果を図—4に示す。図—4(a)は、改良後の一軸圧縮強さ q_u の深度分布を、図—4(b)は、改良前後の液状化強度比 R_{L20} の深度分布を示す。 q_u の分布については、原地盤が建設残土による埋立地盤であることから、改良範囲内の砂質土層にFcの高い粘性土が薄層で混入しており、また貝殻も多量に混入していることから適正な供試体を採取することができなかった。その結果、図に示すようにばらつきが多くなっている。そこで、液状化に対する抵抗性を直接確認するために繰返し三軸試験を実施した。 R_{L20} の方では、改良前後で明らかに液状化抵



図—4 事後調査結果（東京国際空港）

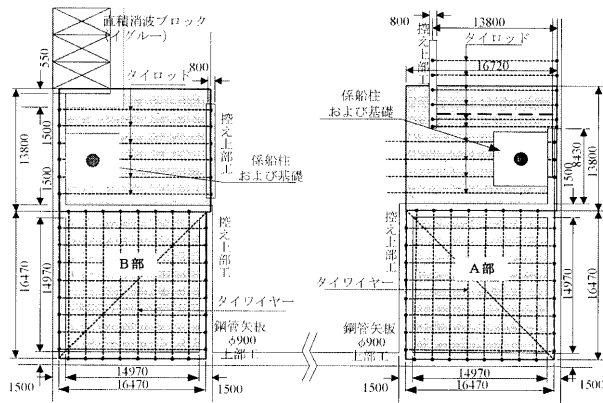


図-5 (a) 施工平面図 (石狩湾新港)

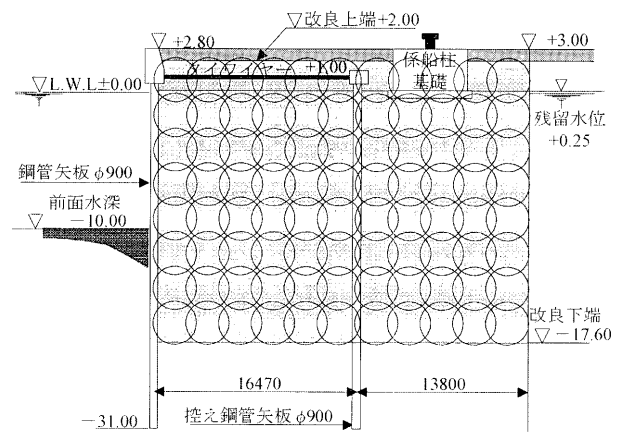


図-5 (b) 施工断面図 (A 部) (石狩湾新港)

表-4 施工仕様 (石狩湾新港)

原地盤特性	土質	細砂
	$F_c(\%)$	9~25
施工数量	改良土量(m^3)	19 800
	注入量(m^3)	8 100
施工仕様	改良率($\%$)	100
	改良径(m)	3.4
	注入速度(l/min)	15
	改良目標強度(kN/m^2)	100
	使用薬液	エコシリカII (濃度6.0%)

mピッチで格子状となっており、また、係船柱基礎があるため、従来の液状化対策工法では施工が困難であることから本工法が採用された。本工事での目標改良強度は、液状化の検討および地震時の岸壁の安定計算から $q_{uck} = 100 \text{ kN/m}^2$ と設定された。表-4 に本工事の施工仕様を示す。本工事は、図-5 に示すような隅角部2箇所 (A 部, B 部) で施工を行った。

施工終了後の事後調査結果を図-6 に示す。原地盤のばらつきやサンプリングの乱れにより改良強度にはばらつきがあり、部分的に強度が小さい部分もあるが、全体の平均強度は、A 部で $q_{uave} = 128 \text{ kN/m}^2$ 、B 部で $q_{uave} = 123 \text{ kN/m}^2$ であり、目標改良強度 $q_{uck} = 100 \text{ kN/m}^2$ を上回る改良効果が確認できた。

4. おわりに

既設の構造物直下地盤の液状化対策は、対策の難しさから、現状では実施されていないことが多いと聞いている。今後、既設構造物直下の耐震補強を行う際の計画、設計、施工時に、本論文が参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 山崎浩之・前田健一・高橋邦夫・善 功企・林健太郎：溶液形注入固化材による液状化対策工法の開発，港湾技研資料，No. 905, 1998.
- 2) 山崎浩之・善 功企・河村健輔：溶液形薬液注入工法の液状化対策への適用，港湾空港技術研究所報告，第41巻，第2号，pp. 119~151, 2002.
- 3) 善 功企・野上富治・松下信夫・菅野秀樹・菅野雄一：溶液形薬液注入工法の液状化対策の試験工事，第35回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2431~2432, 2000.
- 4) 善 功企・野上富治・山本 良・藤井照久・林 規夫：溶液形薬液注入工法の設計法に関する検討，第35回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2433~2434, 2000.
- 5) 河村健輔・鈴木善宣・長谷川英勝・三根範俊：浸透固化処理工法による既設矢板岸壁の地盤改良，基礎工，Vol. 29, pp. 33~36, 2001.

(原稿受理 2002.11.7)

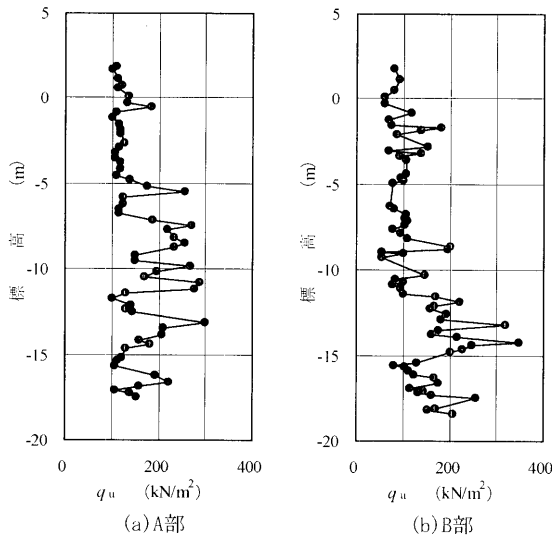


図-6 事後調査結果 (石狩湾新港)

抗性が増加しており、改良効果の確認を行うことができた。

3.2 石狩湾新港-10m岸壁⁵⁾

本工事は、北海道石狩市に位置する石狩湾新港の既設の-10m矢板式岸壁の液状化対策および地震時土圧の低減を目的として行われた。本工事の施工平面図および施工断面図を図-5 に示す。図に示すように、本施工区域は矢板岸壁の隅角部であるため、タイワイヤーが約2