

# 大阪港B・D岸壁における 締固め砕石ドレーン工法による液状化対策

大阪市港湾局 武田 弘一\* 福本 肇\*  
(株)鴻池組 外菌 伸二\*\* 楠見 正人\*\*\*

兵庫県南部地震により、大阪港の港湾構造物においても一部の区域で岸壁・防潮堤等の変形、背面地盤の沈下などが発生したため、大阪市では7件の災害復旧工事を実施している。本報告書では、その中で最も大規模な工事となった住之江区B・D岸壁（ケーソン岸壁）における復旧事例を取り挙げる。B・D岸壁では、岸壁本体の変形は小さかったものの液状化による噴砂、エプロン・ヤードの沈下が発生した。このため同ヤードの復旧と液状化対策を行った。ここでは、低振動・低騒音工法である締固め砕石ドレーン工法を採用しており、本論文では、同工法選定に至るまでの経緯、ドレーンの設計・施工面でポイントとなる技術的特徴を述べる。

また、締固め砕石ドレーン打設による地盤の強度増加及び周辺への影響の測定結果を示すことにより、締固め砕石ドレーン工法の当現場における有効性確認についても報告する。

## 1. はじめに

兵庫県南部地震による大阪市の被害は、一般にはあまり知られていないが、多くの被害を受けている。特に大阪港は大阪の中では震源地に近いため、被害は大きく、港湾局の管理する施設だけでも岸壁、物揚場、防波堤、堤防、道路、緑地、荷役機械等200件近い被害を受けた。その中でも被害の大きかった7件は災害復旧事業として運輸省から補助金を受けて復旧した。

南港にあるB岸壁・D岸壁は特に被害が大きく、ケーソンの背後が液状化して、D-1岸壁では最大50cm陥没するという被害を受けた。被災後直ちに陥没した部分に砕石を投入し、アスファルトで仮舗装を行い仮復旧した。その後、根本的な液状化対策として、締固め砕石ドレーンを3バース約5,000<sup>m</sup><sup>2</sup>実施した。

キーワード：兵庫県南部地震、液状化、締固め砕石ドレーン

\* 大阪市港湾局建設部, 06-572-5121

\*\* (株)鴻池組大阪本店基礎部, 06-244-3778

\*\*\* (株)鴻池組土木本部土木設計部, 06-244-3615

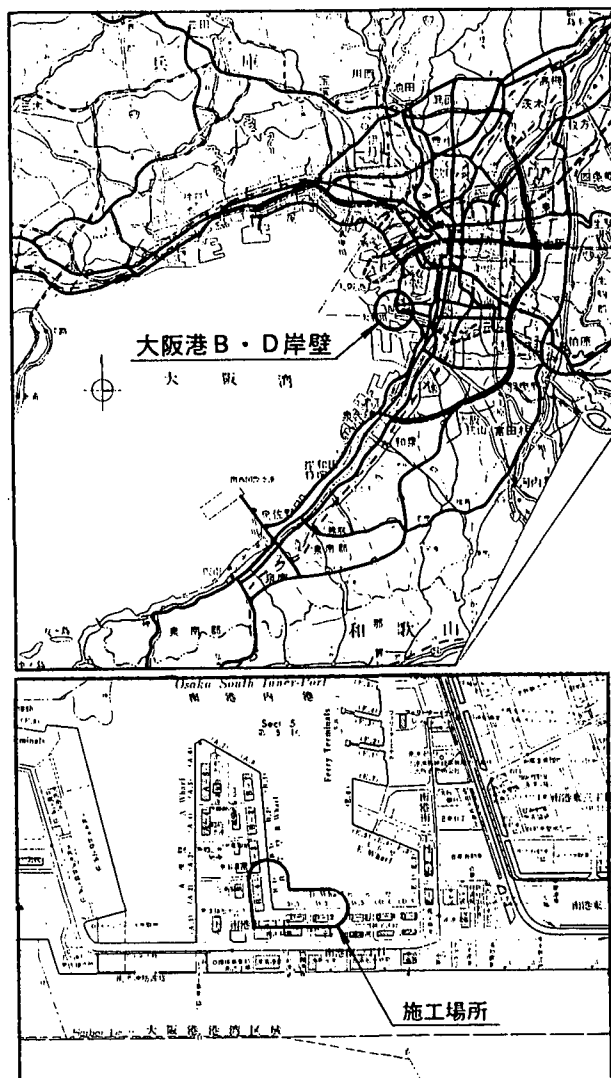


図-1 B・D岸壁位置図

## 2. 液状化対策工の設計

### (1) B・D岸壁の概要

当岸壁は昭和40年代前半に施工されたものであり、ケーソン背面には当時の事情から、瀬戸内海で採取された細砂で埋立てられており、裏込め石は使用していない。図-2にB・D岸壁の平面・断面図を示す。

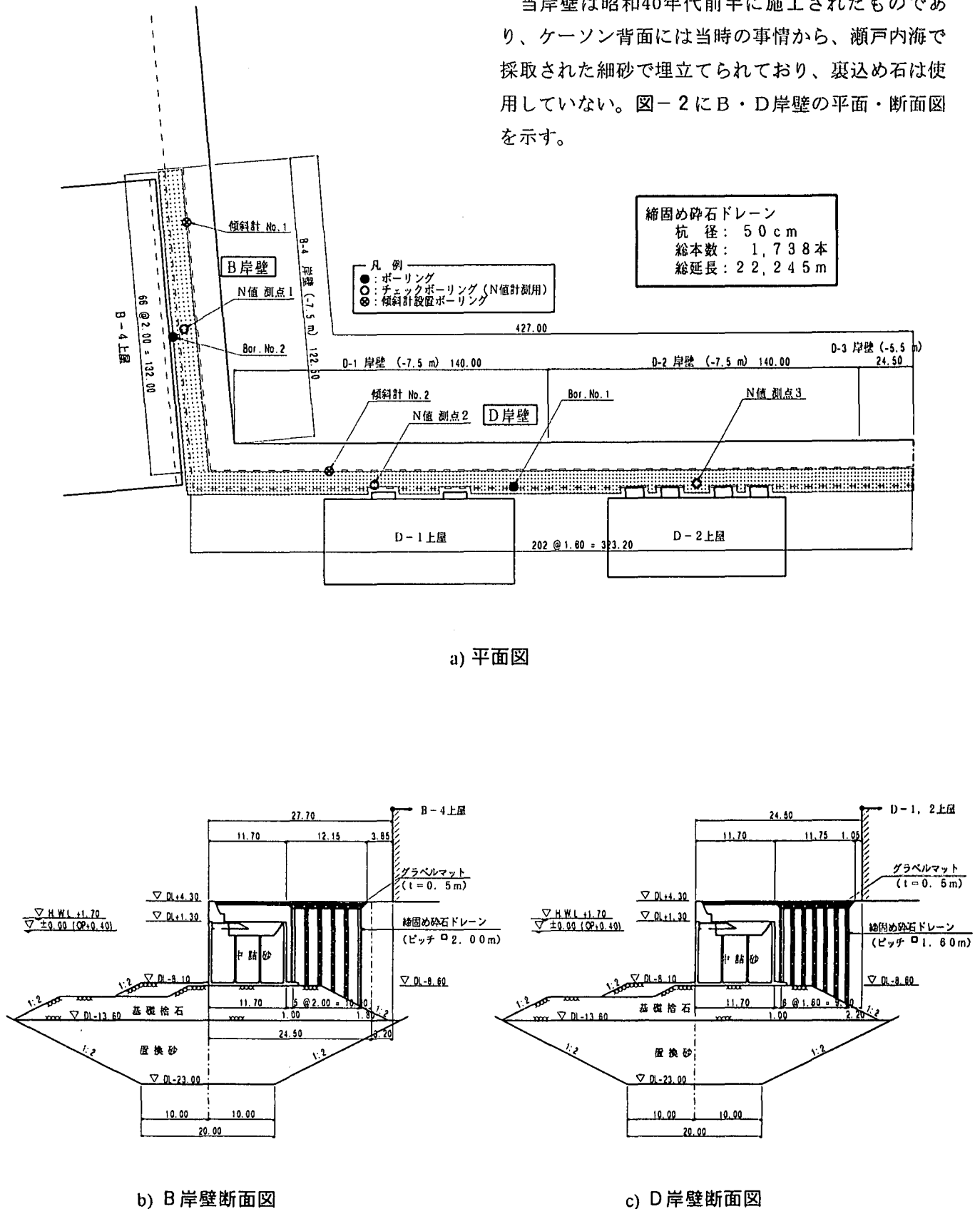


図-2 B・D岸壁概要図



(4) 液状化の予測と判定

(a) 粒度及びN値による予測と判定

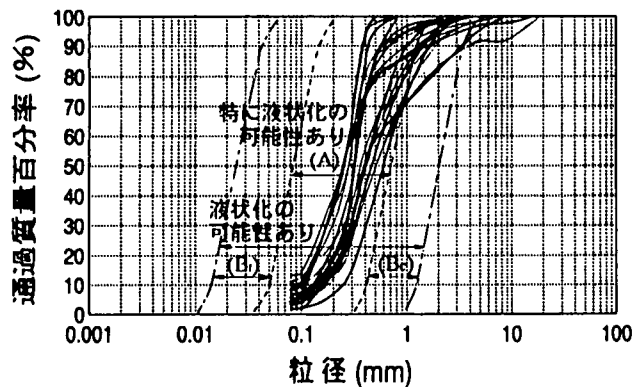
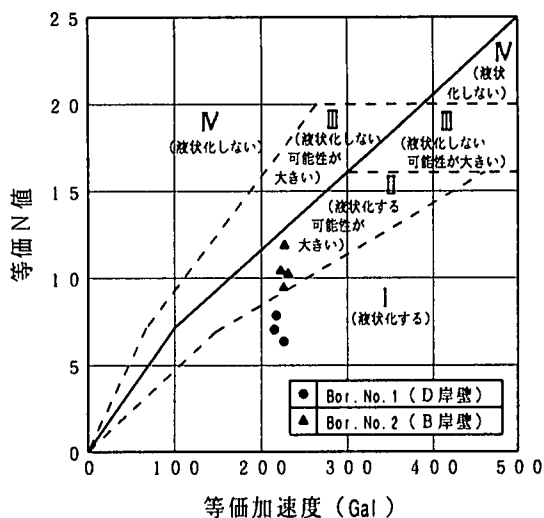


図-6 裏埋砂の粒度加積曲線



等価加速度と等価N値による液状化予測のための土層の分類  
(粒度範囲Aの土層に対するもの)

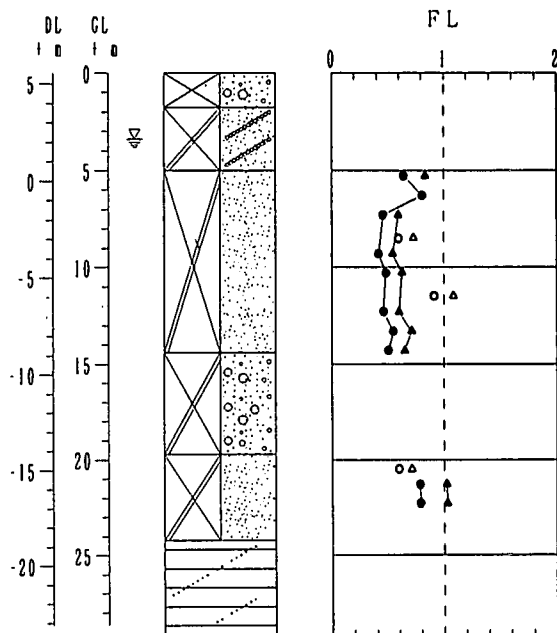
図-7 裏埋砂の等価加速度～等価N値

図-6に、当地盤の粒度加積曲線を港湾基準<sup>4)</sup>の液状化の可能性のある粒度範囲(均等係数の小さい砂)と合わせて示すが、「特に液状化の可能性あり」とされている範囲に分布していることがわかる。また、地震応答解析より求めた最大せん断応力から算出した等価加速度と等価N値による液状化予測の結果を図-7に示すが、D岸壁では同基準の「I:液状化する」に位置し、B岸壁では「II:液状化する可能性が大きい」に位置する。

(b) 振動三軸試験結果による予測・判定

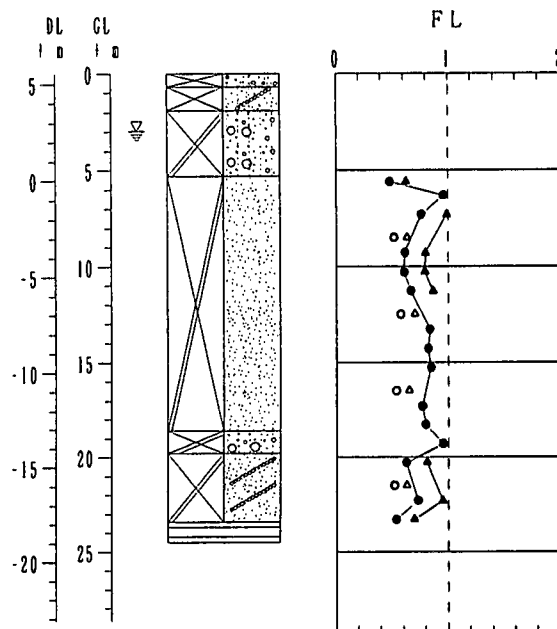
液状化対象層の7深度で実施した振動三軸試験結果を用いて算出した液状化安全率(F<sub>L</sub>)の深度分布を図-8に示す。また、同図中には道示<sup>5)</sup>より計

算したF<sub>L</sub>分布も合わせて示されているが、いずれの結果においても、岸壁背後の埋立土砂は液状化すると判定される。



	振動三軸試験	道路橋示方書
八戸波(260gal)	○	●
神戸波(200gal)	△	▲

a) Bor. No. 1



	振動三軸試験	道路橋示方書
八戸波(260gal)	○	●
神戸波(200gal)	△	▲

b) Bor. No. 2

図-8 F<sub>L</sub>分布図

表-2 液状化対策工法比較検討結果

工法	締固め碎石ドレーン	グラベルドレーン	サンドコンパクションパイル	ミニコンポーザー	深層混合処理
振動・騒音	◎	◎	×	△	◎
施工時の地盤変化	○	◎	×	△	◎
経済性	(φ500, □1.6m) ○	(φ500, □1.2m) △	(φ700, □1.9m) ◎	(φ500, □1.3m) △	(φ1000, □1.0m) ×
総合評価	◎ 採用				

(5) 液状化対策工の検討

(a) 工法選定

液状化対策工法としては、表-2に示す通り5工法について比較検討を実施した。当該地区は岸壁背後に倉庫があり、振動・騒音及び地盤変位等の環境面での制約の多い場所であることから、低公害型でかつ経済性において優る締固め碎石ドレーン工法を採用した。締固め碎石ドレーン工法では、従来のグラベルドレーン工法に比べて周辺地盤の静的な締固め効果を期待できるため、ドレーンピッチが広くなり経済的となる。

(b) 締固め碎石ドレーン工法改良仕様

締固め碎石ドレーン打設に伴う周辺地盤の増加N値を $\Delta N = 3$ と設定して計算した結果に基づき、ドレーンピッチを $\square 1.6m$  (D岸壁, Bor. No. 1),  $\square 2.0m$  (B岸壁, Bor. No. 2)とした。 $\Delta N$ については、過去の実績から見ればもう少し期待できると考えられ

るが、ピッチ $\square 2.0m$ は同工法としては初めての試み(従来は $\square 1.85m$ まで)であることから、安全側の立場から $\Delta N = 3$ を採用した。なお、締固め後の液状化強度については、振動三軸試験結果に $\sqrt{N_c}/N_0$  ( $N_c$ :改良後N値,  $N_0$ :改良前N値)を乗じて算出した。

また、グラベルマット厚は50cmとし、空気抜孔( $\phi 50cm$ )を約 $120m^2$ に1ヶ所ずつ設置することとした。

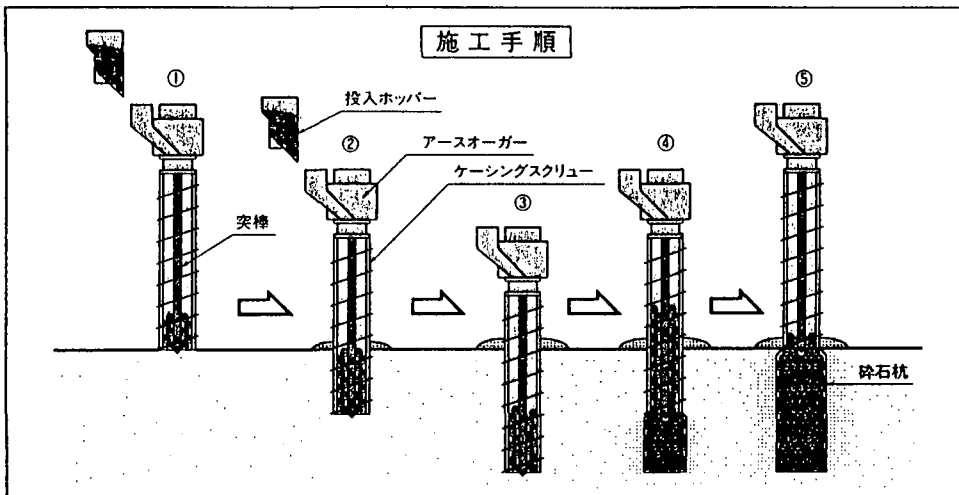
3. 締固め碎石ドレーンの施工

締固め碎石ドレーンの施工手順を図-9に示すが、周辺地盤の効果は、ケーシング(φ500mm)内に装備した先端コーン型の鋼製突棒(φ150mm)を上下運動(75回/分, ストローク300mm)させ、碎石を積極的に突固めることにより得られる。

なお、ケーシング先端にはビットを溶接して削孔能力を高めているが、当地盤の上層部には締まった

玉石混じり砂礫層が存在したため、ビットの摩耗対策として超硬チップを採用している。

また、表-3に施工管理及び品質管理項目を示す。特にドレーンの出来形については、深度計及び碎石面計による計測値を施工機に搭載したパソコンを介してフロッピーディスクに記録することで管理に利用している。



①所定の位置に施工機を設置し、鉛直性を確認する。 ②ケーシングを回転させ、上部より碎石を投入しながら貫入する。 ③所定の深度に達したらケーシングを止める。 ④突き棒で碎石を突き固め、周辺地盤を締め固めながらケーシングを引き上げる。 ⑤ケーシングスクリーを引抜き、施工完了。

図-9 締固め碎石ドレーン工法施工手順

表-3 施工管理および品質管理項目

時期	管理項目	管理目的
施工前	目詰り試験	材料品質
	砕石粒度	材料品質
	深度計	計器チェック
	砕石面計	計器チェック
施工中	砕石粒度	材料品質
	連続性	ドレーン出来形
	下端深度	ドレーン出来形
	打設位置	ドレーン出来形
	ドレーン径	ドレーン出来形
	排土率	締固め効果
	砕石使用量	地盤変状防止 締固め効果

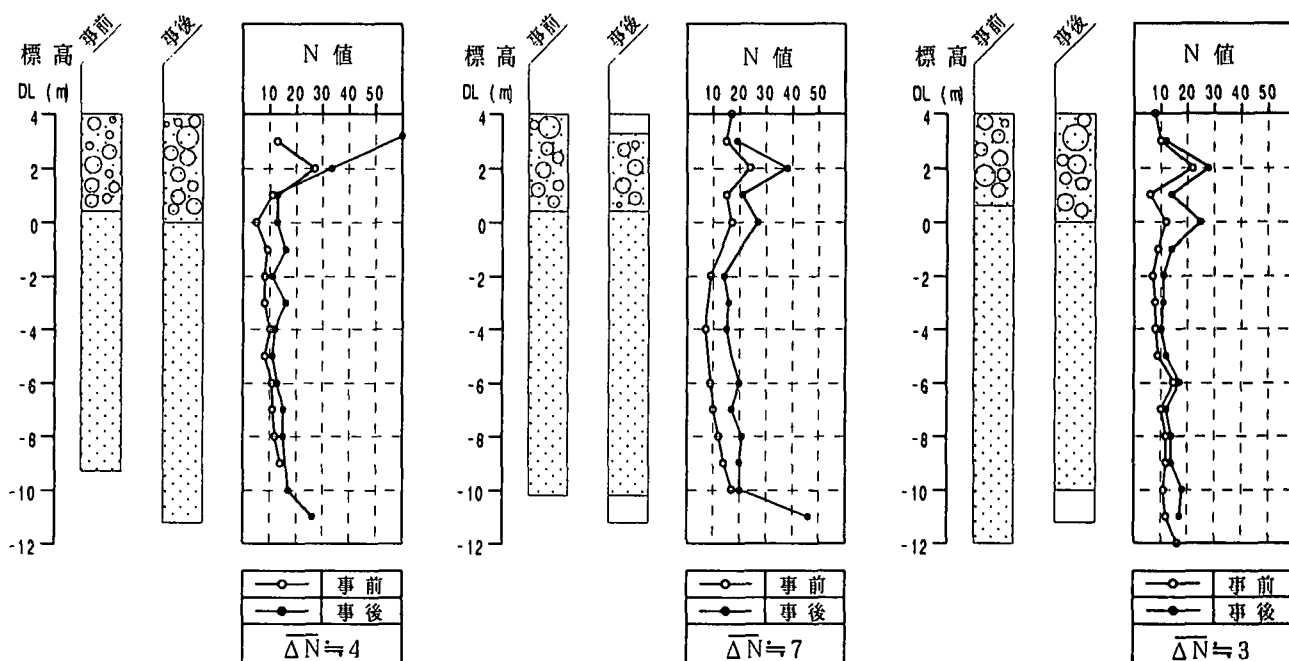
#### 4. 計測結果

##### (1) N値

締固め砕石ドレーン工法の施工に際しては、通常、設計時に設定した周辺地盤の増加N値の妥当性を確認するためにドレーン打設後にチェックボーリングを実施している。図-10は当施工区域の3ヶ所(図

-2参照)で測定した事前・事後のN値の比較である。元々のN値が10前後の箇所が多くやや硬い地盤であったため、一部では $\Delta N = 2$ のデータも見られるが、平均では設計時の $\Delta N = 3$ を上回っており、当工法の締固め効果及び設計の妥当性が確認されている。3測点を比較した場合、測点1及び測点3は測点2に比べて若干N値増加が小さい。この原因としては、測点1については打設間隔が $\square 2.0m$ であることも多少影響していると思われる。測点3については細粒分含有率( $F_c$ )のばらつきが主原因と考えられる。締固め効果に影響を及ぼす要因として $F_c$ が挙げられるが、当地盤の $F_c$ は4%~22%とばらつきがあり、測点による顕著な $F_c$ の差異は認められなかったものの結果的にはこの場所的なばらつきが増加N値に影響したものと考えられる。なお、事後のN値は杭間の中心の最も締固まりにくい位置で測定していることから、地盤全体の平均で考えればさらにN値が増加していることが予想される。

また、今回得られた結果を同工法の既往の実績に重ね合わせたものが図-11である。今回の増加N値は既往の実績<sup>6)</sup>の下限線をクリアしており、本工法で初めて採用した $\square 2.0m$ という打設間隔は妥当であったと言えよう。



測点1 (ドレーンピッチ:  $\square 2.0m$ )

測点2 (ドレーンピッチ:  $\square 1.6m$ )

測点3 (ドレーンピッチ:  $\square 1.6m$ )

図-10 事前・事後N値比較 その1

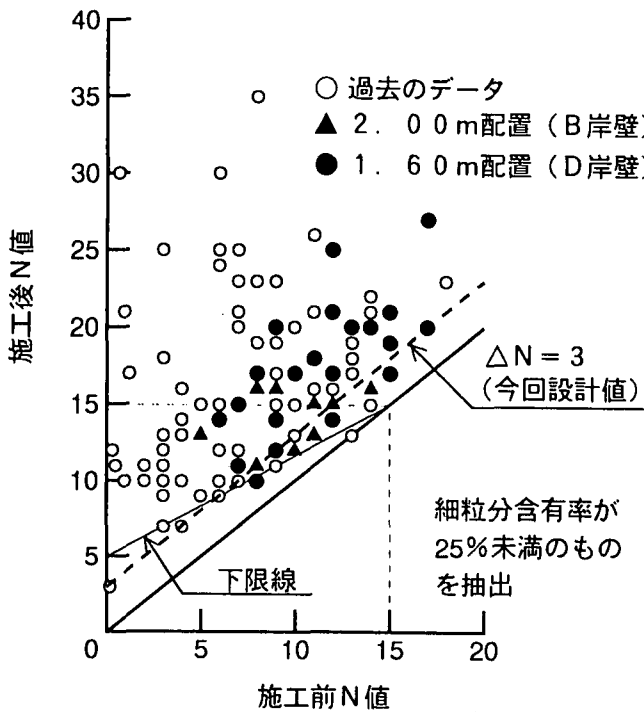


図-11 事前・事後N値比較 その2

(2) 水平変位量

図-12は当施工区域の2ヶ所(図-2参照)で測定したドレーン打設に伴う水平変位量である。ケーソンへの影響防止を確認する目的で実施しているため、測定位置は図に示すようにケーソン背面から50cmの地点であり、ボーリング孔を利用して挿入式傾斜計で計測している。傾斜計No.1, No.2ともに地表面での最大水平変位量はわずか1.5cm程度であり、締固め砕石ドレーン工法は周辺影響の極めて小さい工法であることがわかる。なお、同時に実施した変位測量により、ケーソン自体の変位、地盤の盛り等が発生していないことを確認している。No.1がNo.2に比べて若干水平変位量が大きいが、これはドレーン打設間隔の違いによる差と思われる。さらに、No.1においてGL-2mで約3cmの変位が発生しているが、この深度は前述の締まった玉石混じり砂礫層中であることから、ケーシング貫入によって礫がはねよけられたことに起因しているものと考えられる。

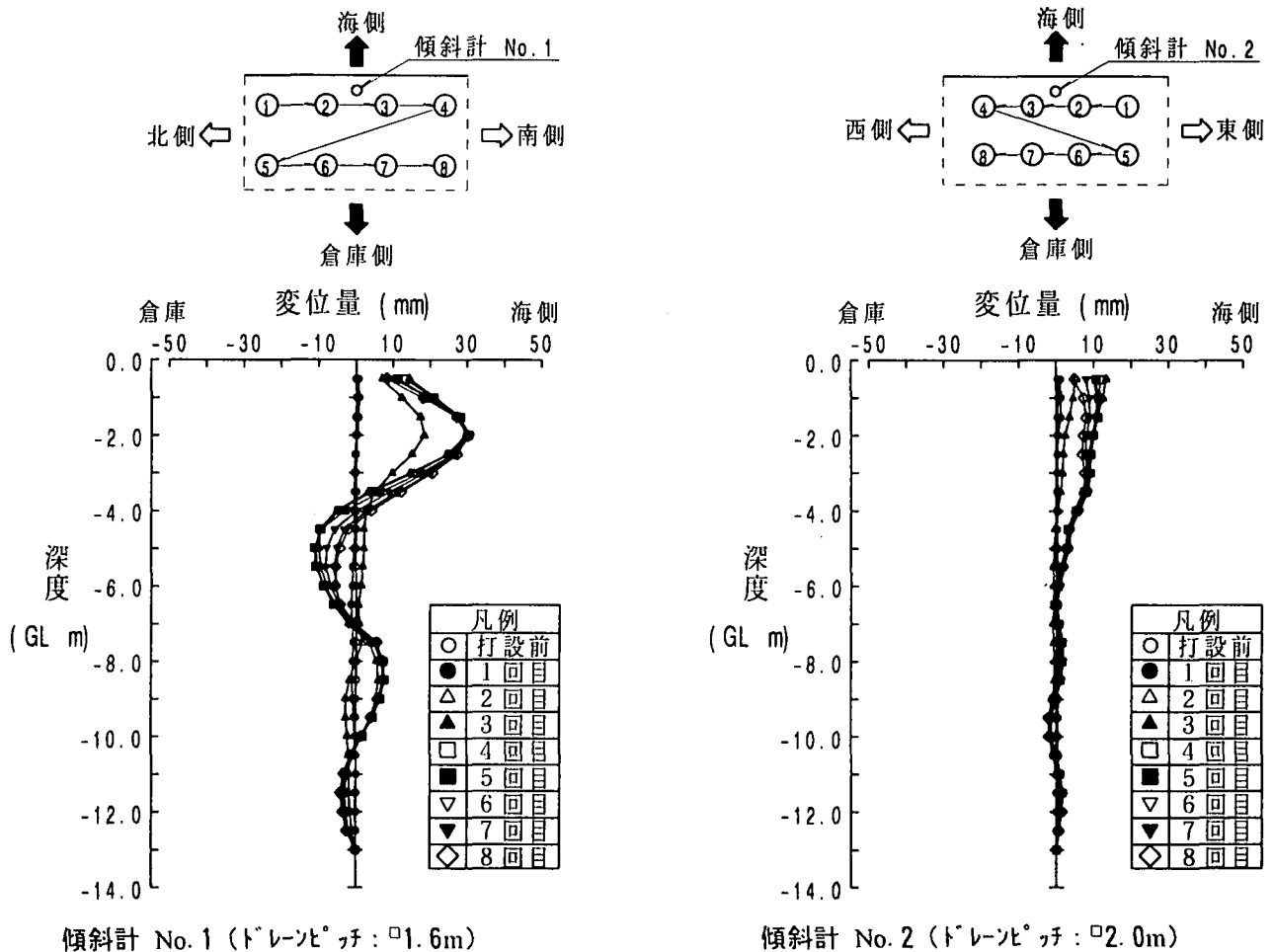


図-12 ドレーン打設に伴う水平変位量 その1

また、今回得られた結果を本工法の既往の実績<sup>6)</sup>に重ね合わせたものが図-13であるが、今回の変位量は、ケーソンにより地盤変形が拘束されていることから実績下限以下に位置していることがわかる。また、ケーソンの無い地点ではもう少し大きな変位が発生しているとも考えられるが、その場合でも変位量はせいぜい実績値程度と予想され、締固め砕石ドレーン工法が周辺地盤に与える影響が非常に小さく、既設構造物近傍での施工に適する工法とされていることが、今回の施工結果においてもうかがえる。

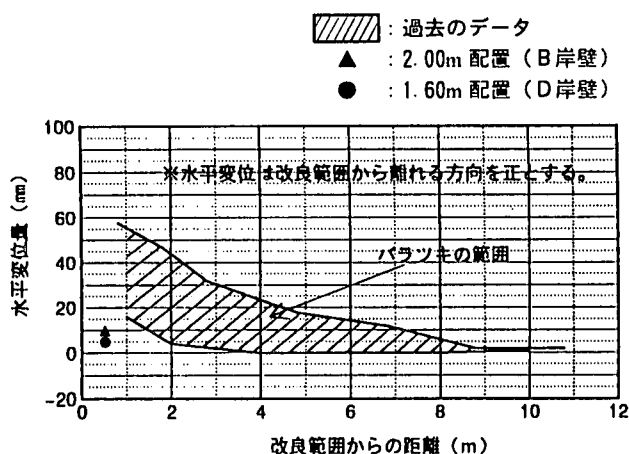


図-13 ドレーン打設に伴う水平変位量 その2

## 5. おわりに

大阪市港湾局では、今回の地震の影響を受けてなかった港湾構造物についても耐震補強を計画、実施

中である。これらの施工区域には全て既設構造物が近接していることから、周辺影響の極力小さい低公害型の工法が求められる。この意味においても先駆けて施工したB・D岸壁での締固め砕石ドレーン工法の採用は効果的であったと考えられる。今後は、同工法の締固め効果をより合理的に設定する方法も模索しながら計画を進めていく所存である。

## 【参考文献】

- 1) Shnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. : SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report No. EERC 72-12, University of California at Berkeley, 1972.
- 2) 北澤壮介, 上部達生, 桧垣典弘 : 沿岸地域における基盤の最大加速期待値の推定、港湾技研資料, No. 486, 1984.
- 3) Imai, T. and Tonouchi, K. : Correlation of N value with S wave Velocity and Shear Modulus, Proc., 2nd ESOPT, 1982.
- 4) 社団法人 日本港湾協会・運輸省港湾局監修 : 港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版(上巻), 1989, pp. 204.
- 5) 社団法人 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, 平成2年2月.
- 6) グラベルドレーン工法研究会 : グラベルドレーン工法 技術資料, 平成8年4月, pp. 59.

# Countermeasure Works for Soil Liquefaction by Gravel Drain System with Compaction Effect in Osaka Port, B・D Wharf

Koichi Takeda, Hajime Fukumoto, Shinji Sotozono, Masato Kusumi

Due to Hyogoken-Nanbu Earthquake(M7.2), some of harbour facilities such as wharfs and revetments in Osaka Port were damaged. Especially at B・D Wharf(Suminoe Area), sand boils were found and settlements due to liquefaction had occurred, so restoration works were made. In this project, the gravel drain system with compaction effect were chosen as countermeasure for liquefaction. In this report, mechanism of this system and its feature were outlined. And proved effects of this method were also reported.