

豊洲市場における液状化対策

平成29年3月
中央卸売市場

液状化対策の経緯

- 平成22年12月 建物敷地外の液状化対策等の設計(平成23年3月まで)
- 平成23年 3月
- ・東日本大震災(東京で震度5強)により、豊洲市場敷地内(5街区及び6街区)で噴砂・噴水が発生。大小100箇所以上の噴砂痕を確認
 - ・噴砂は部分的なもので、1か所当たりの噴砂量も少なく、全体として小規模との評価



小さい規模の噴砂(全体の半数以上)

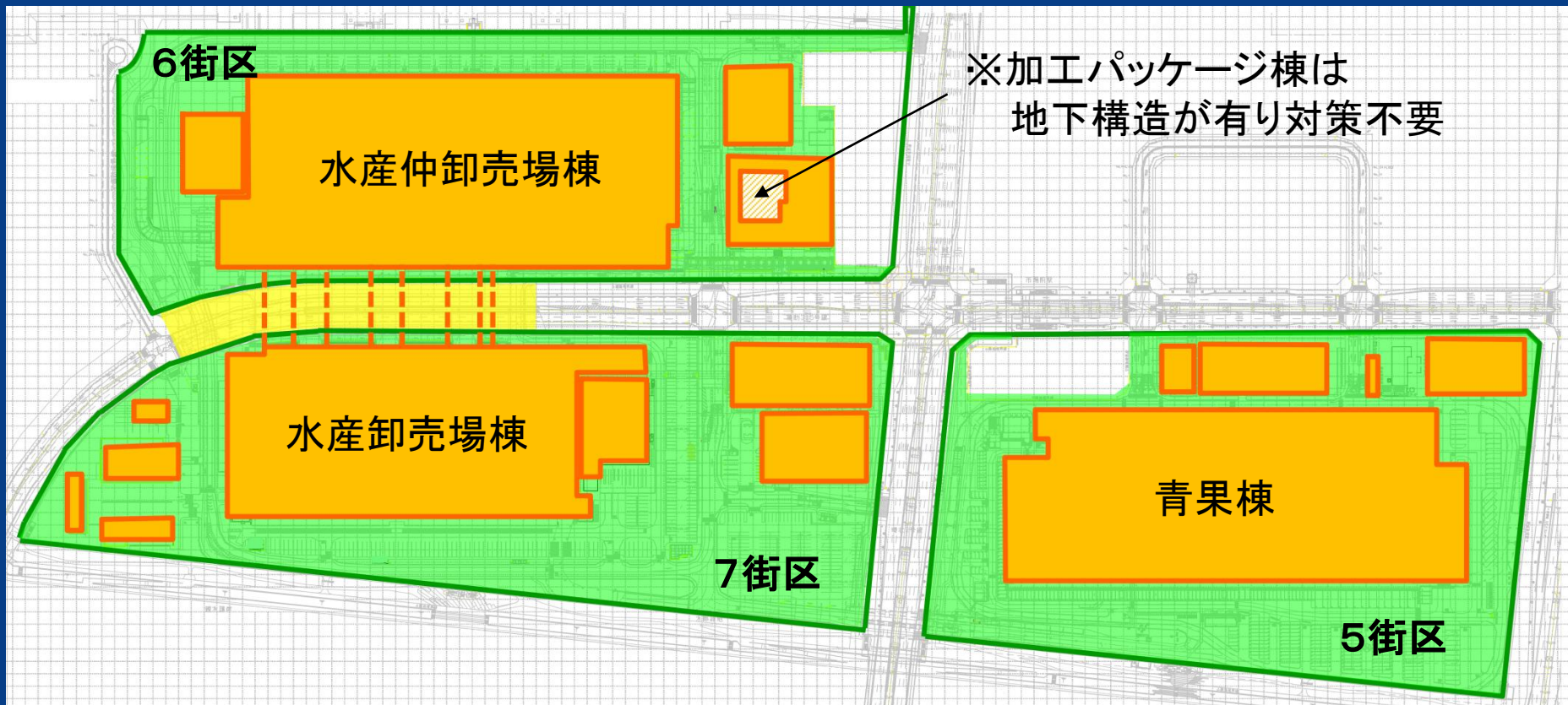


大きい規模の噴砂

- 平成23年11月 土壌汚染対策工事開始
⇒土壌汚染対策後に、建物敷地以外(構内道路や駐車場など)の液状化対策工事を実施
- 平成26年 2月 主要3棟建物建設工事開始
⇒建物敷地の液状化対策工事を実施

豊洲市場全体図(液状化対策の範囲)

 : 建物建設地  : 建物建設地外  : 補助315号線高架下



液状化対策の流れ

1 地質調査

土の締り具合などを調査し、液状化判定の対象となる地層を確認

2 設 計

液状化の対策方法を決定

3 工 事

砂やコンクリート等の改良杭を地中に造成し、地盤を締固め

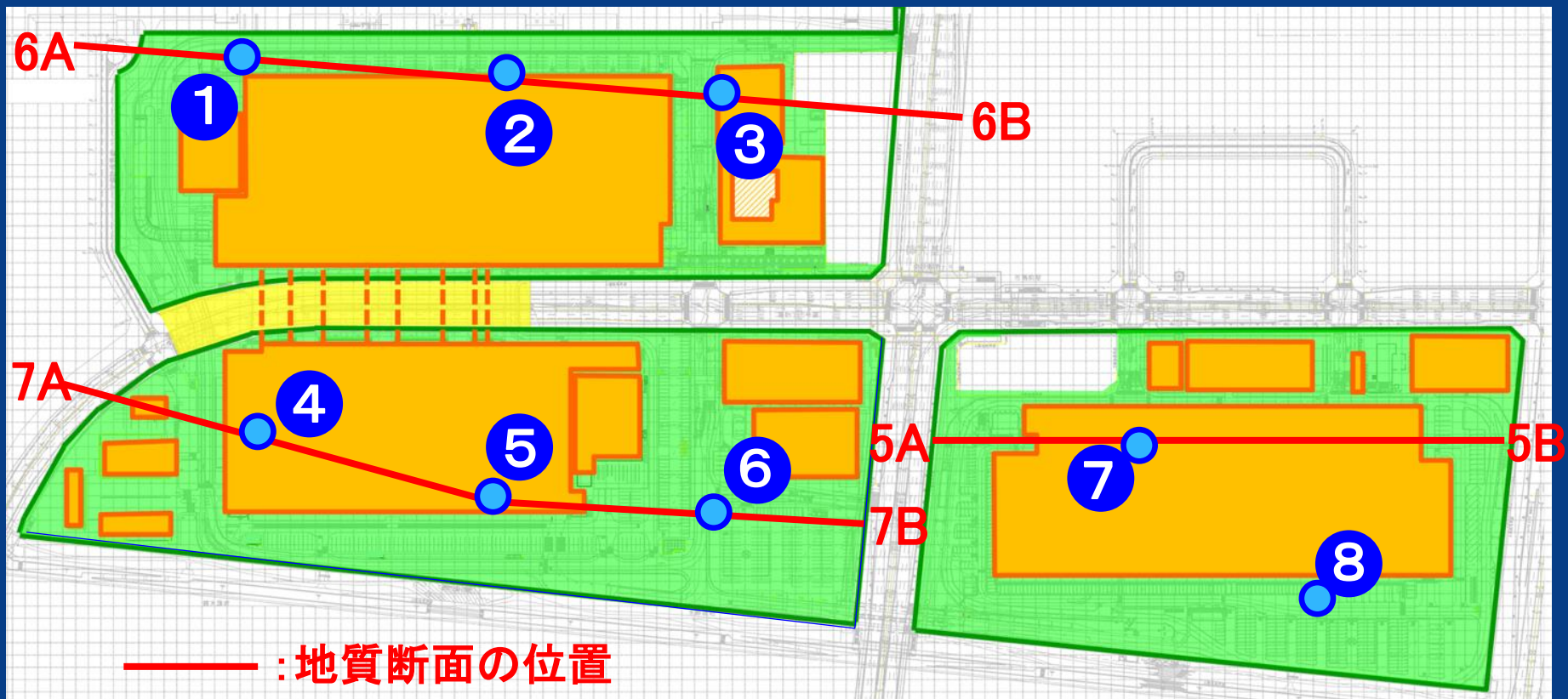
4 確 認

設計の目標まで締固められたかチェックボーリングで確認

1 地質調査

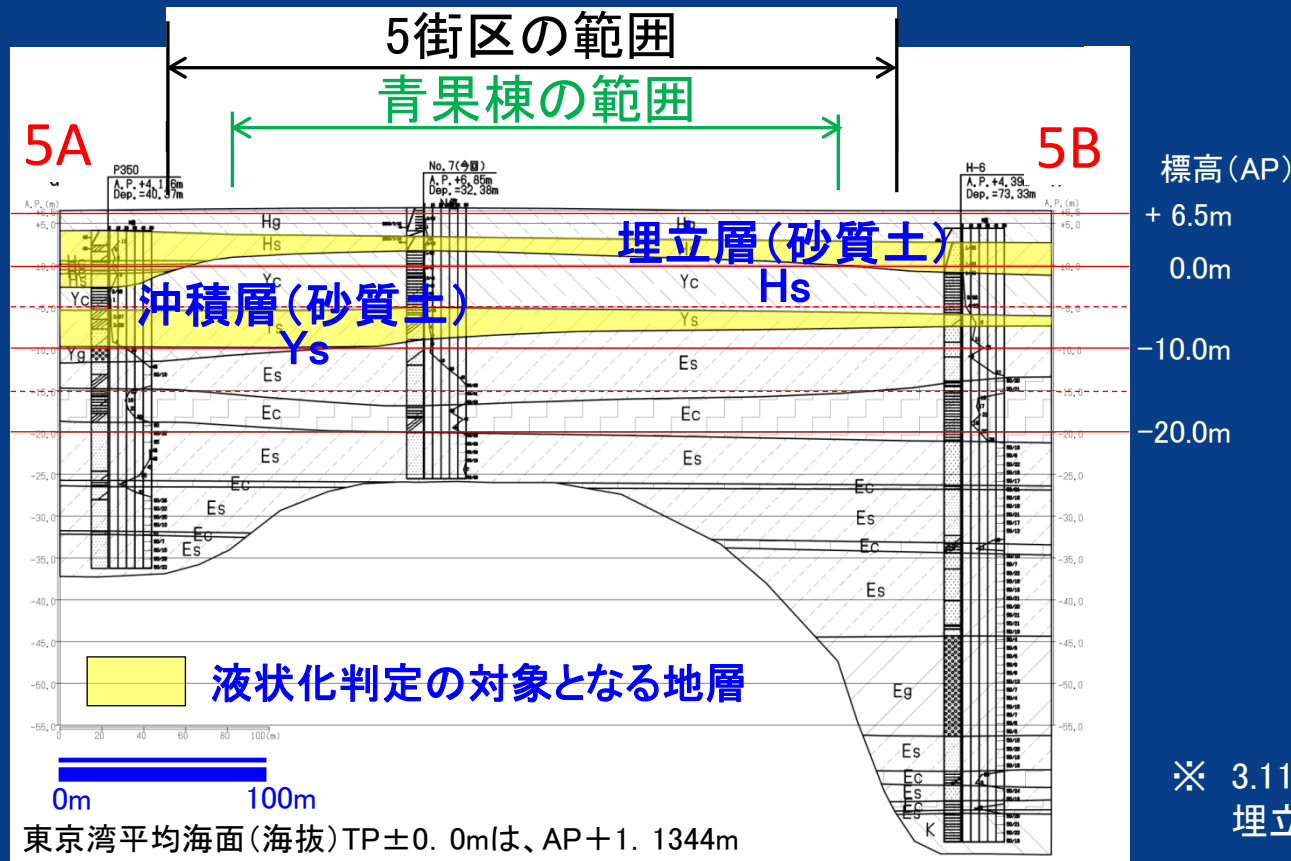
調査位置

液状化対策を検討するため、改良前の地質構成等を
8箇所で調査し、地質断面図を作成



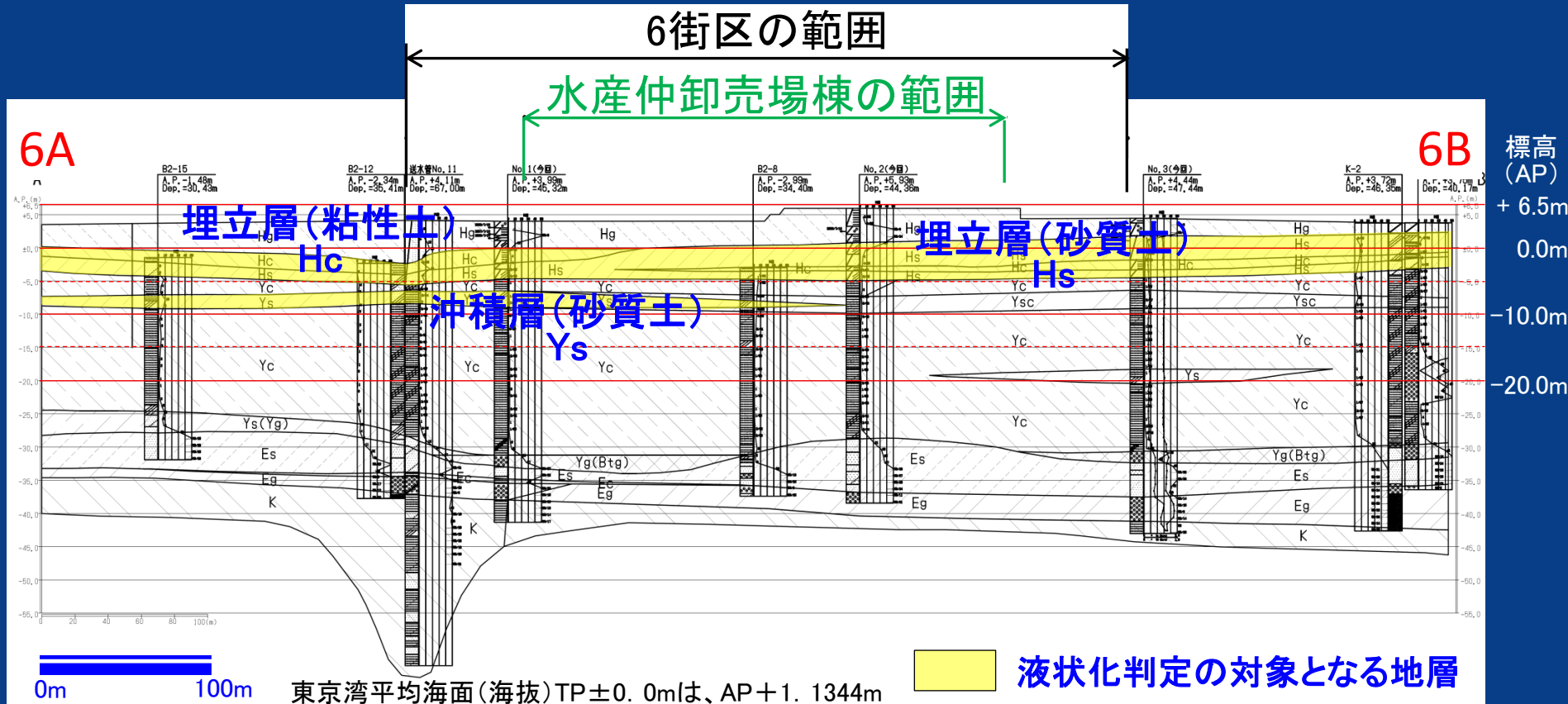
5街区 地質断面図

調査結果から液状化判定の対象となる地層を確認
(締め具合や粘土分の混ざり具合などで判定)



- 着色した地層全体で液状化判定が必要となるわけではない。(同じ地層の中にも、粘土分の混ざり具合などによって液状化判定の必要がない部分もある。沖積層の粘性土(Yc)の中でも局所的に液状化判定の対象となる部分もある)

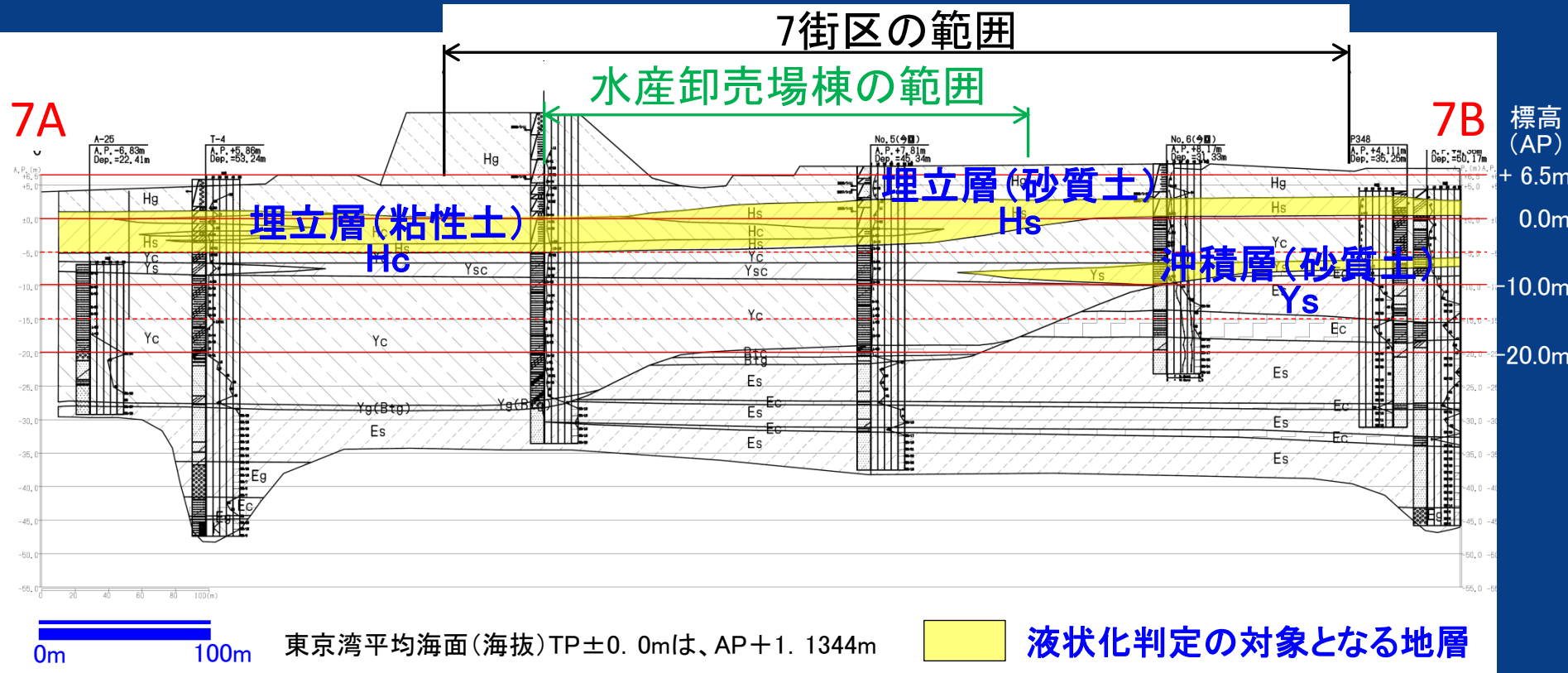
6街区 地質断面図



※ 3.11の本街区の噴砂は、埋立砂質土層が噴出

- 着色した地層全体で液状化判定が必要となるわけではない。 (同じ地層の中にも、粘土分の混ざり具合などによって液状化判定の必要がない部分もある)

7街区 地質断面図



- 着色した地層全体で液状化判定が必要となるわけではない。 (同じ地層の中にも、粘土分の混ざり具合などによって液状化判定の必要がない部分もある)

2 設 計

建物建設地の液状化対策の設計

対策目標

- ・中地震(レベル1相当)が発生しても、液状化しない
- ・大地震(レベル2相当)が発生しても、液状化の可能性が低い

準拠基準：建築基礎構造設計指針 ほか

目標設定の考え方

中地震：地盤そのものが、変位や破壊などによって修復の必要がある状態にならないこと

大地震：地盤の過大な変位などによって、構造物が、補修・補強で再使用できない状態にならないこと

中地震(レベル1相当)：構造物の供用期間中に1回～数回遭遇する地震。震度5程度。

大地震(レベル2相当)：構造物の供用期間中に起こりうる最大級の地震。震度6強程度。

※ 地震動と震度の大きさの関係に定義はない。首都直下地震の想定は震度6強。

建物建設地外の液状化対策の設計

対策目標

- ・レベル1地震動が発生しても、液状化しない

準拠基準：港湾の施設の技術上の基準・同解説 ほか

目標設定の考え方

- 供用期間中に1回～数回遭遇するレベル1地震動に対して液状化しないこと
- 数百年に一度遭遇するレベル2地震動に対しては、補修・補強で対応

基準の考え方

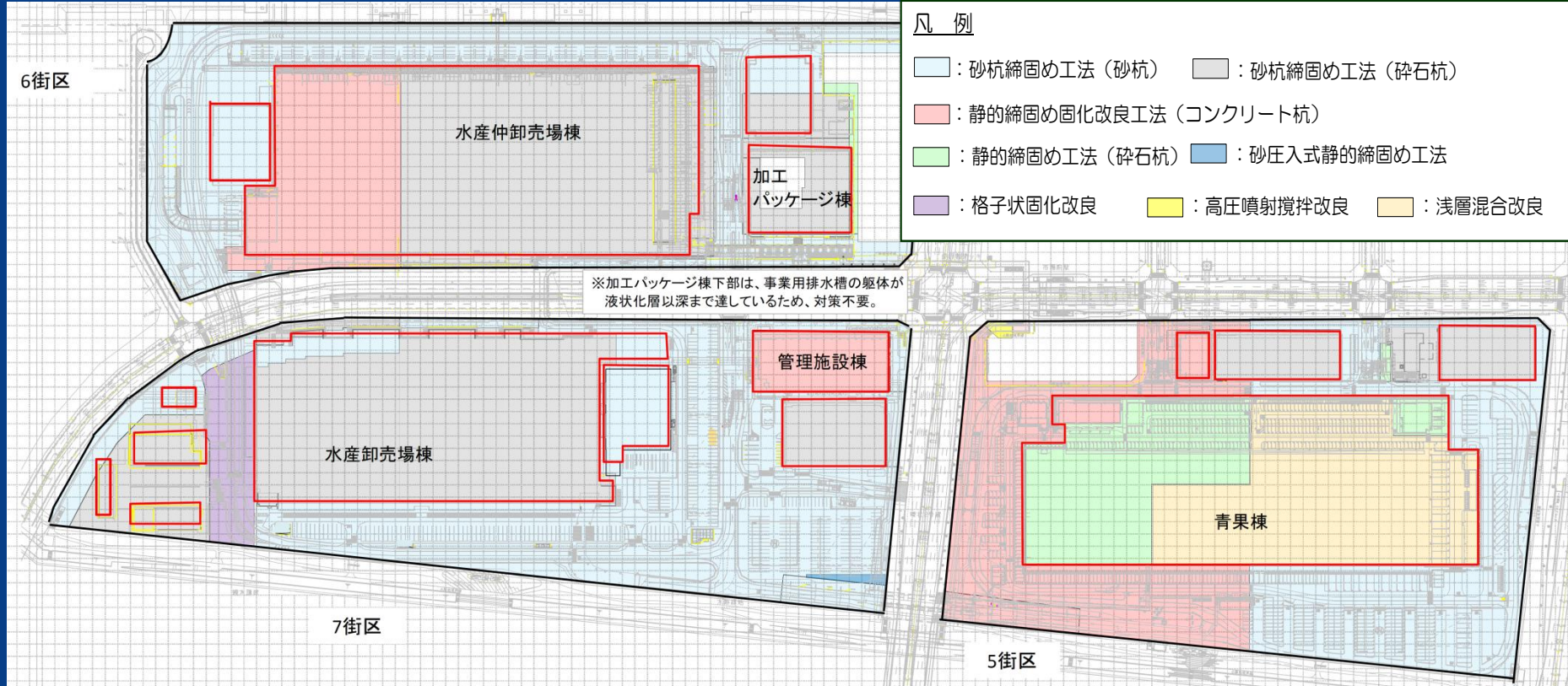
- 液状化対策の目的は想定地震動に対する地盤・構造物の機能確保。対策レベルは、構造物の種類(重要度)に応じて異なる
- レベル2地震動の液状化対策の必要性は、各施設の性能規定等を参照して判断
- トンネル構造のない道路や駐車場には、地震動による損傷で機能を損なわないなどの要求性能の規定がない

参考資料②・③参照

3 工 事

液状化対策 平面図

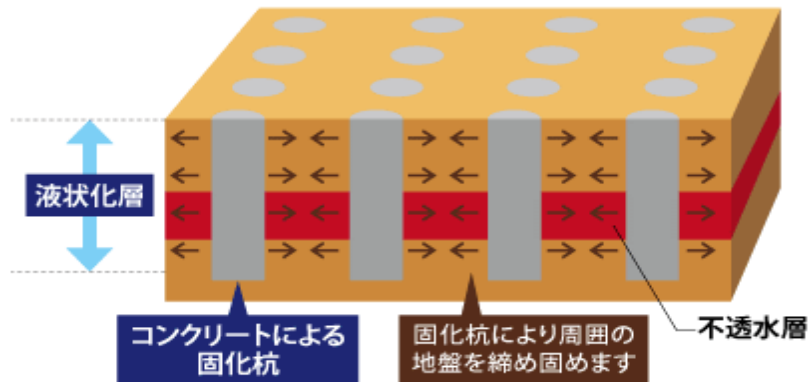
液状化対策としては主に、改良杭を地中に造成して地盤を締固める工法を採用



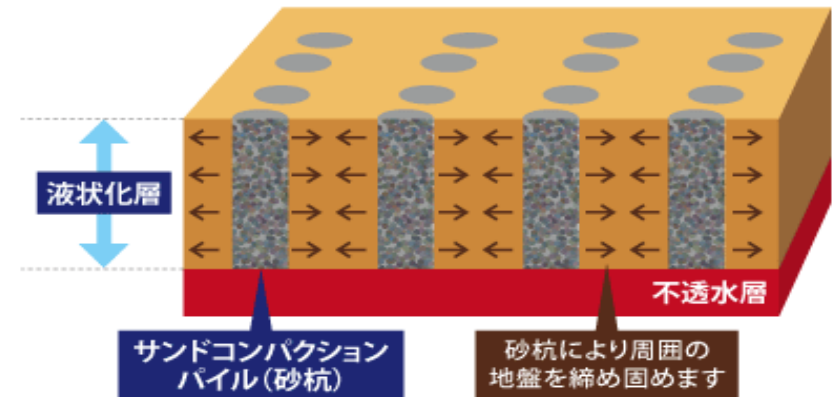
代表的な工法の例

砂やコンクリートなどの改良杭を地中に造成し、密度を高めて地盤を締め固める

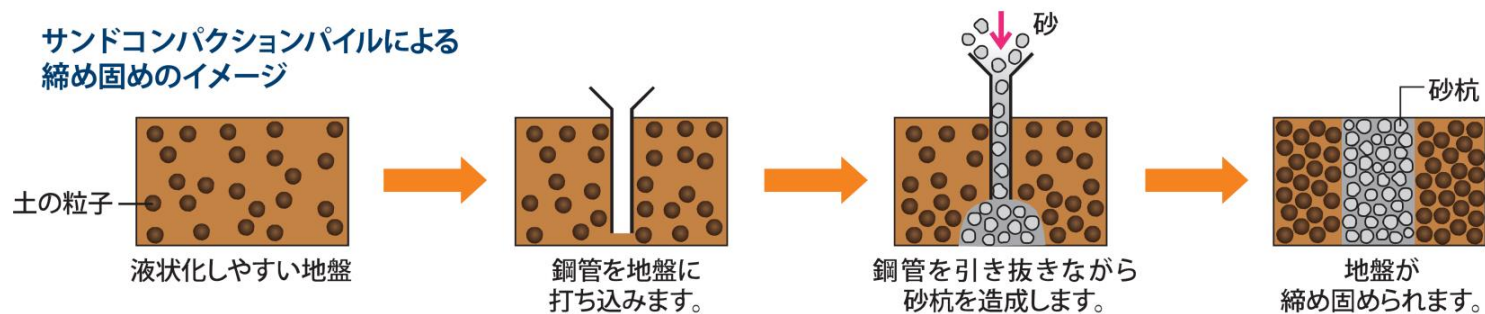
静的締め固め固化改良工法（5街区）



砂杭締め固め工法（6街区、7街区）



サンドコンパクションパイルによる締め固めのイメージ



設計地震レベルによる対策内容の違い

工法は同じ。改良杭の間隔(密度)が異なる

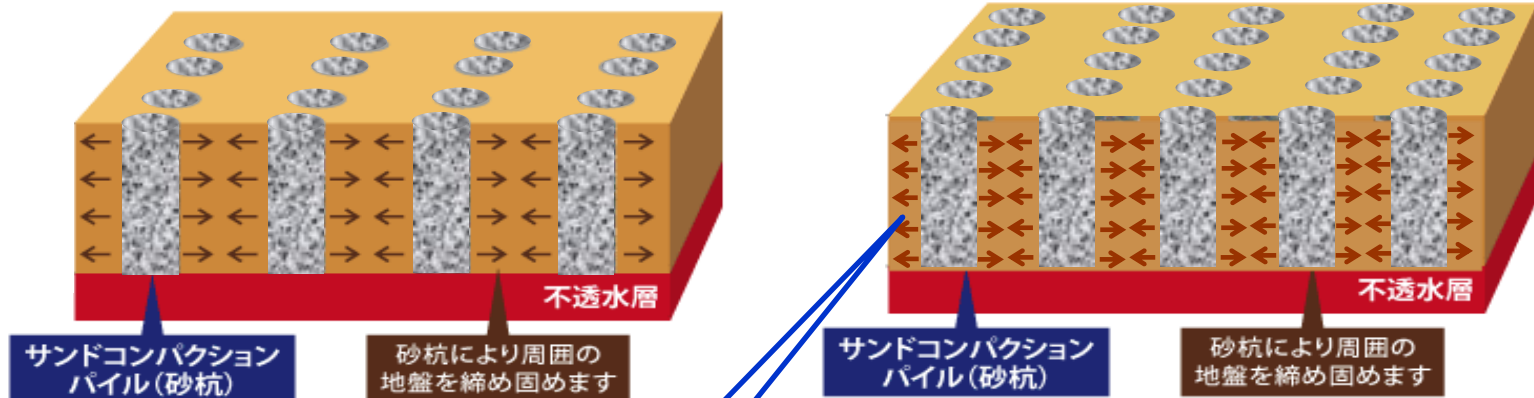
(例)

建物建設地外
レベル1地震対応
2.0m間隔の正方形配置



建物建設地
大地震(レベル2)対応
1.5m間隔の正方形配置

(イメージ)



改良杭が密になると、
より固く締固まる

※ 用地全域で建物建設地の方が密になっているわけではない。結果として建物下と周辺で改良密度に差異がないケースもある

採用工法の改良効果実証例

図2 今川地区の土質柱状図

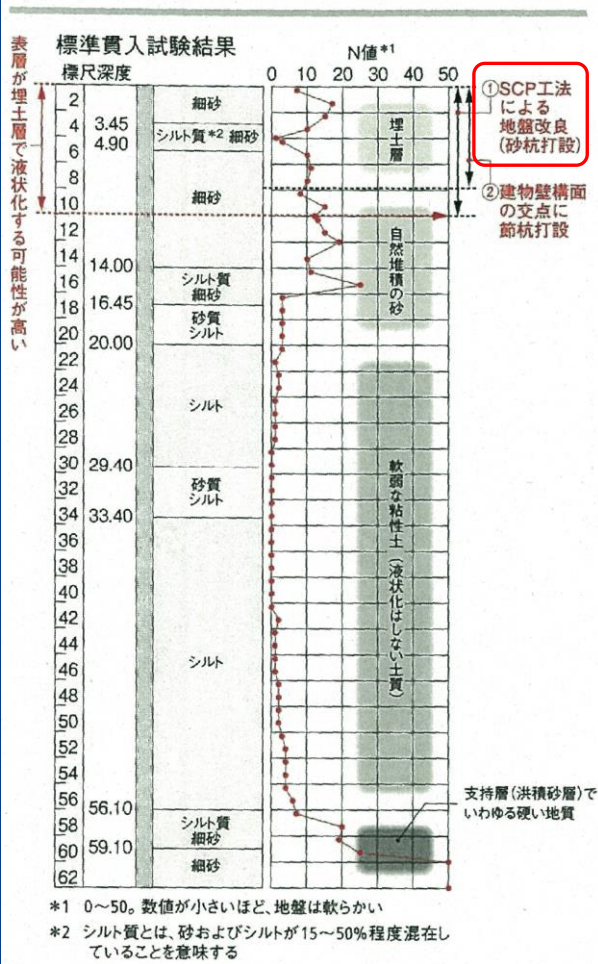
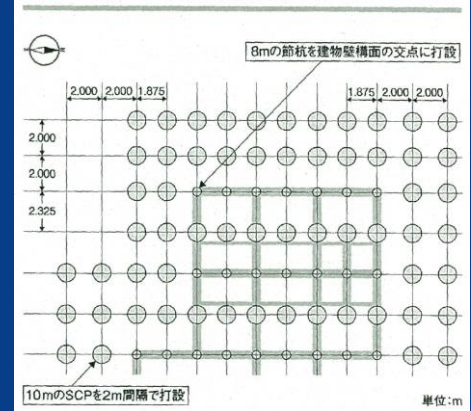


図3 今川地区A団地SCP配置図



今川地区A団地の地震後の様子

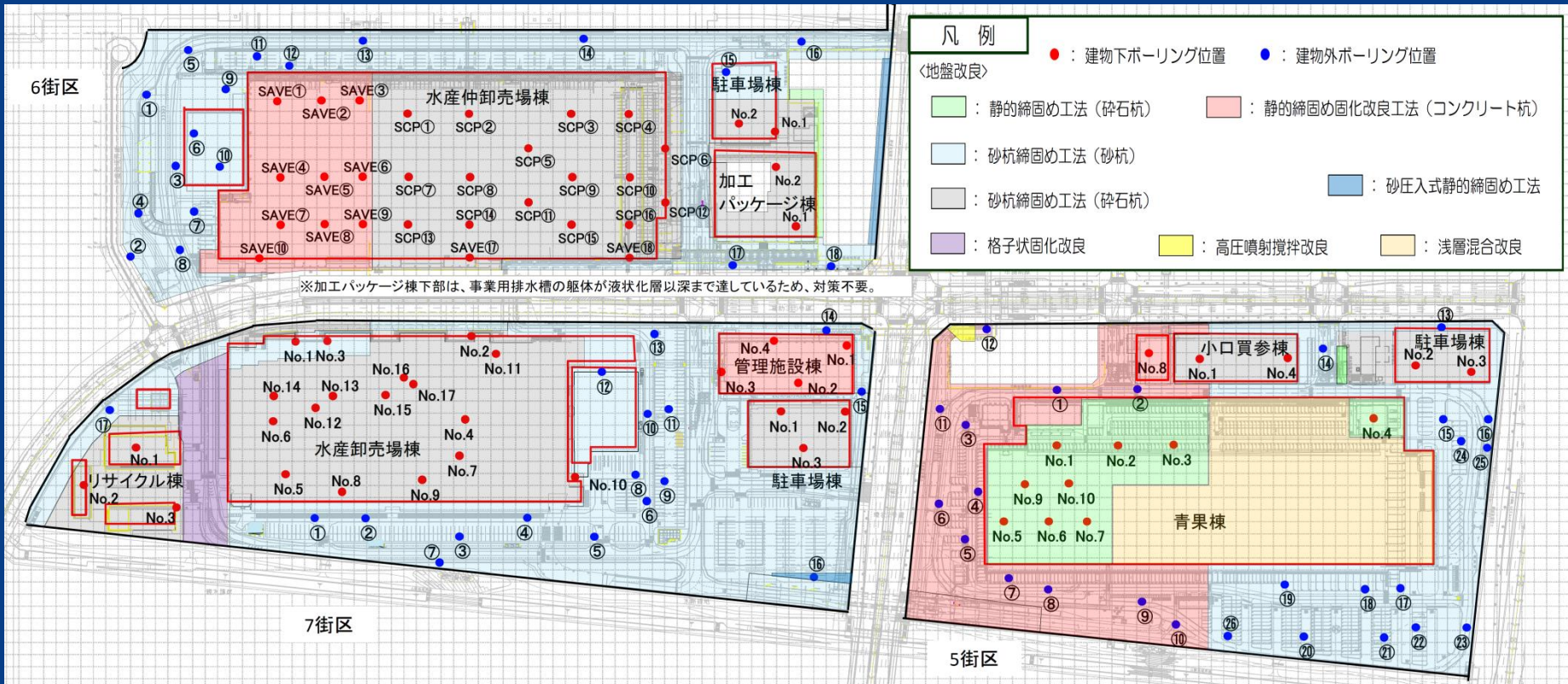
液状化の甚大な被害を受けた浦安市でも、砂杭による締固め工法によって対策がなされた施設は、液状化の被害がなかったことが確認されている

4 確 認

液状化対策の効果の確認

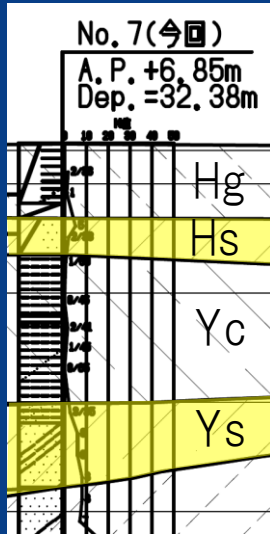
締固め具合などを確認するボーリング(チェックボーリング)を実施
(建物建設地で73箇所、建物建設地外で61箇所)

結果をもとに、改良地盤の液状化の安全率や危険度などを算定



改良前後の土の締め具合(N値)の比較

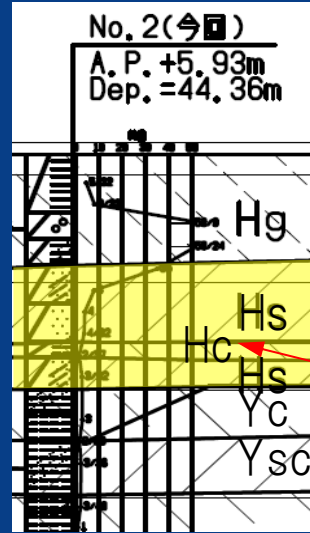
5街区
調査箇所⑦



埋立層
(砂質土)

沖積層
(砂質土)

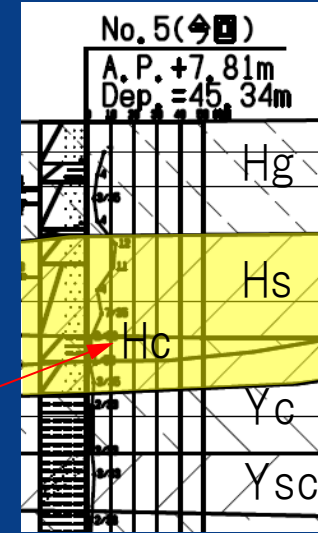
6街区
調査箇所②



埋立層
(砂質土)

埋立層
(粘性土)

7街区
調査箇所⑤



埋立層
(砂質土)

地層	改良前	改良後
Hs	1.8	7.0
Ys2	2.6	8.0
	6.0	9.0
	6.0	10.0
	8.0	15.0

地層	改良前	改良後
Hs1	8.0	12.0
	4.0	25.0
Hs2	3.8	18.0
		16.0
	2.8	10.0

地層	改良前	改良後
Hs1	11.0	12.0
	4.0	9.0
Hc/Hs1	6.0	5.0
	1.6	8.0
Hc/Hs2	0.6	
Hs2	2.6	

※ 改良前の地質調査と、なるべく近い位置のチェックボーリングの比較。深度や地層には、多少のずれがある。

建物建設地の液状化判定結果①

中地震(レベル1相当)が発生しても液状化しない

FL値: 液状化に対する安全率。1を超えていると、液状化しないと判定

建物建設地		平均 F_L 値(カッコ内は最小値)	
		改良無し	改良有り
5街区	青果棟	0.597 (0.568)	2.269 (1.284)
	小口買参棟		2.350 (2.109)
	駐車場棟		1.300 (1.031)
6街区	水産仲卸売場棟	0.631 (0.570)	1.478 (1.013)
	加工パッケージ棟		2.157 (2.142)
	駐車場棟		2.065 (1.589)
7街区	水産卸売場棟	0.748 (0.511)	1.357 (1.015)
	管理施設棟		2.804 (2.455)
	容器業者倉庫棟		1.960 (-)
	リサイクル施設棟		2.323 (-)
	駐車場棟		1.648 (1.218)
判定結果		$F_L \leq 1$: NG	全て $F_L > 1$: OK

建物建設地の液状化判定結果②

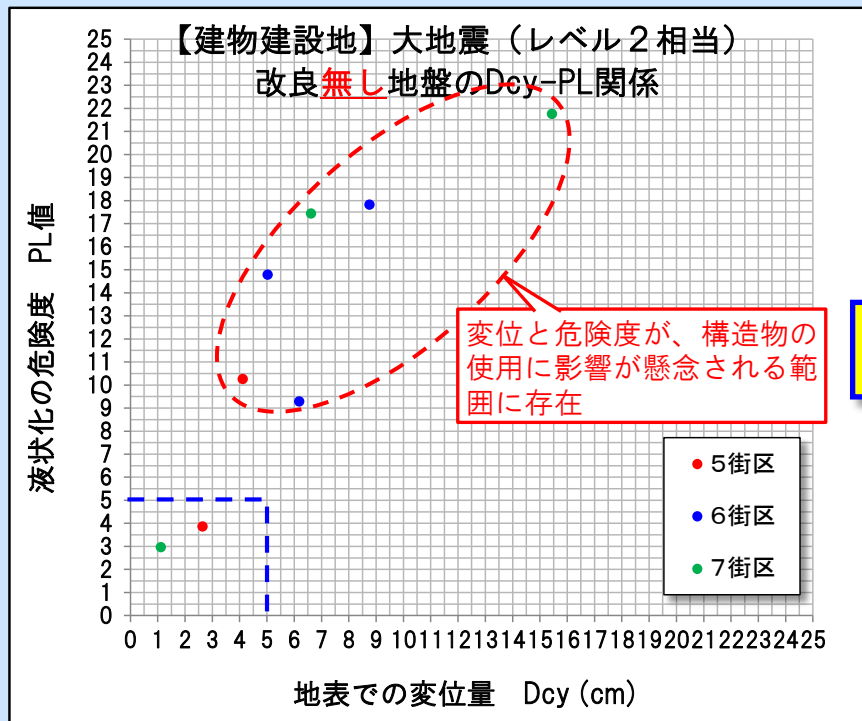
大地震(レベル2相当)が発生しても液状化の可能性は低い

液状化の程度が軽微または液状化の危険度が低い状態に収まっている

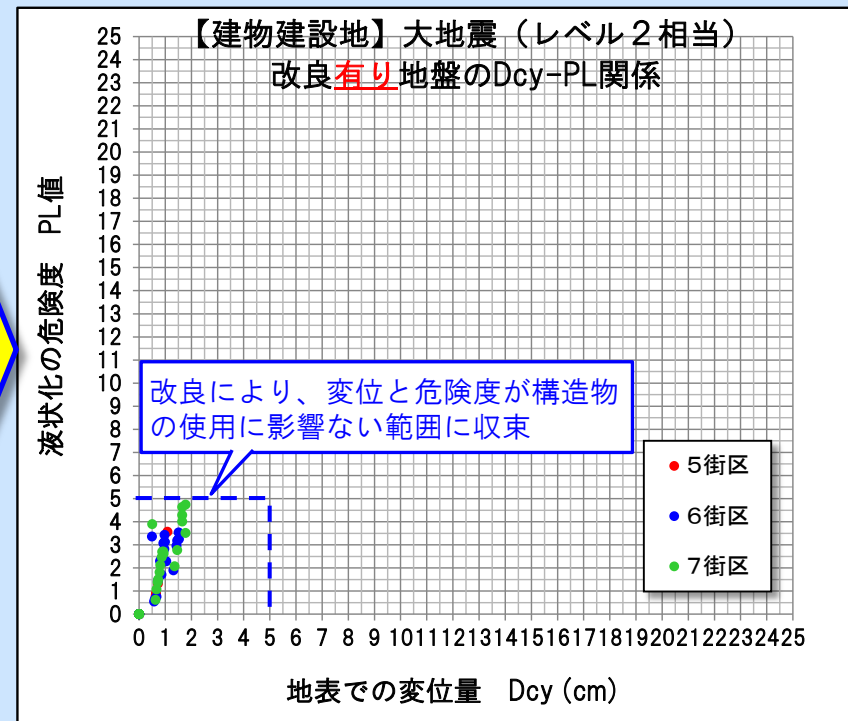
Dcy : 液状化による地表面の変位量。5cm以下で液状化の程度が軽微と判定

PL値 : 液状化の危険度。5以下で危険度が低いと判定

改良無し(地質調査結果)



改良有り(チェックボーリング結果)



建物建設地外の液状化判定結果①

建物建設地外は、レベル2地震動で液状化し、
噴砂や噴水が生じることは無いのか？

チェックボーリングの結果から、対策目標の改良効果が十分に得られていることをプロジェクトチームに報告



プロジェクトチームとの協議の結果、建築物の基準を適用し、中地震(レベル1相当)及び大地震(レベル2相当)の液状化に対する安全性を検証

建物建設地外の液状化判定結果②

中地震(レベル1相当)が発生しても液状化しない

FL値: 液状化に対する安全率。1を超えていると、液状化しないと判定

建物建設外	平均 F_L 値(カッコ内は最小値)	
	改良無し	改良有り
5街区	0.851 (0.825)	1.664 (1.077)
6街区	0.881 (0.796)	1.999 (1.236)
7街区	0.944 (0.750)	1.602 (1.148)
判定結果	$F_L \leq 1$: NG	全て $F_L > 1$: OK

建物建設地外の液状化判定結果③

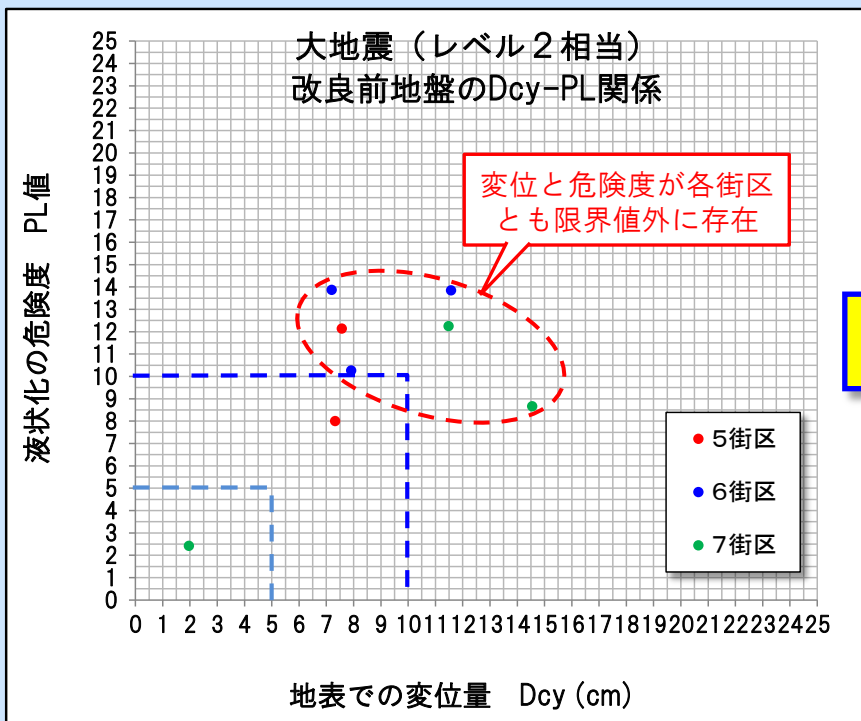
大地震(レベル2相当)が発生しても液状化の可能性は低い

阪神大震災の被害事例の分析結果から、沈下が生じない・被害が軽微となる

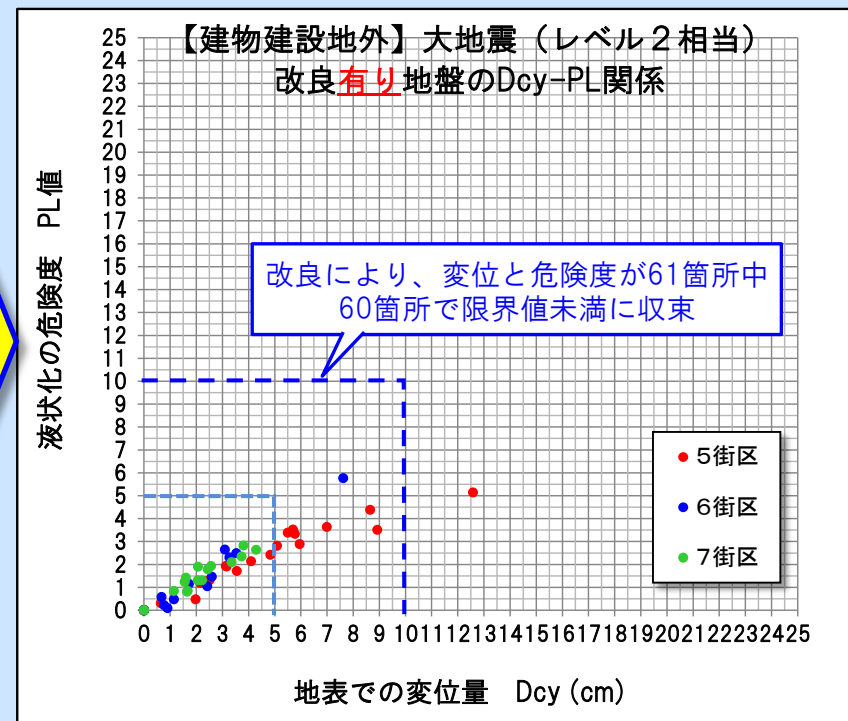
$D_{cy} 5 \sim 10 \text{cm}$ 以下、PL値 $5 \sim 10$ 以下に収まっている

D_{cy} で判定し、限界値をクリアしない場合は、PL値を併用して総合的に判断

改良前地盤(3.11被災時)



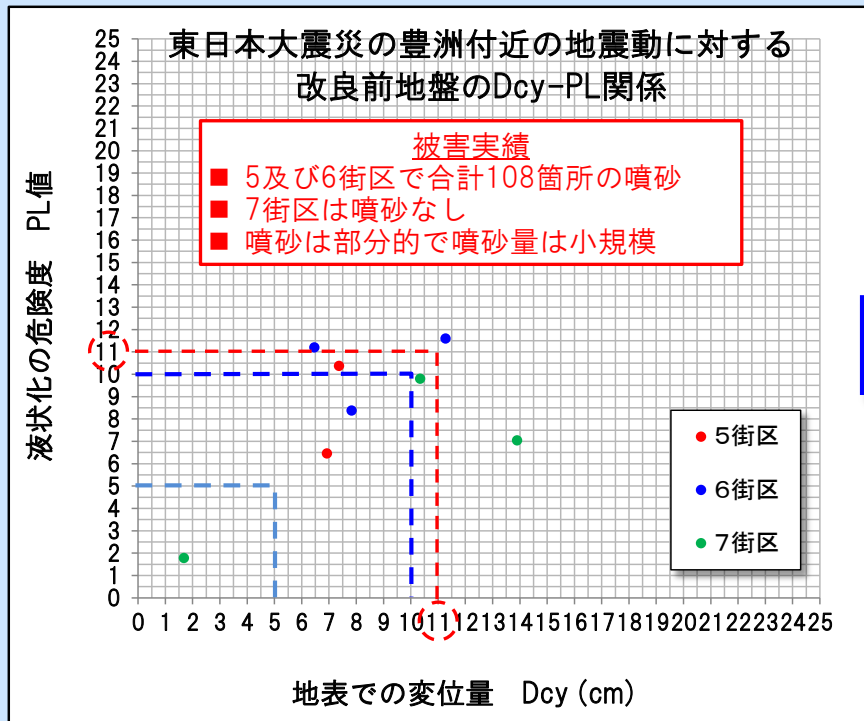
改良後地盤(チェックボーリング結果)



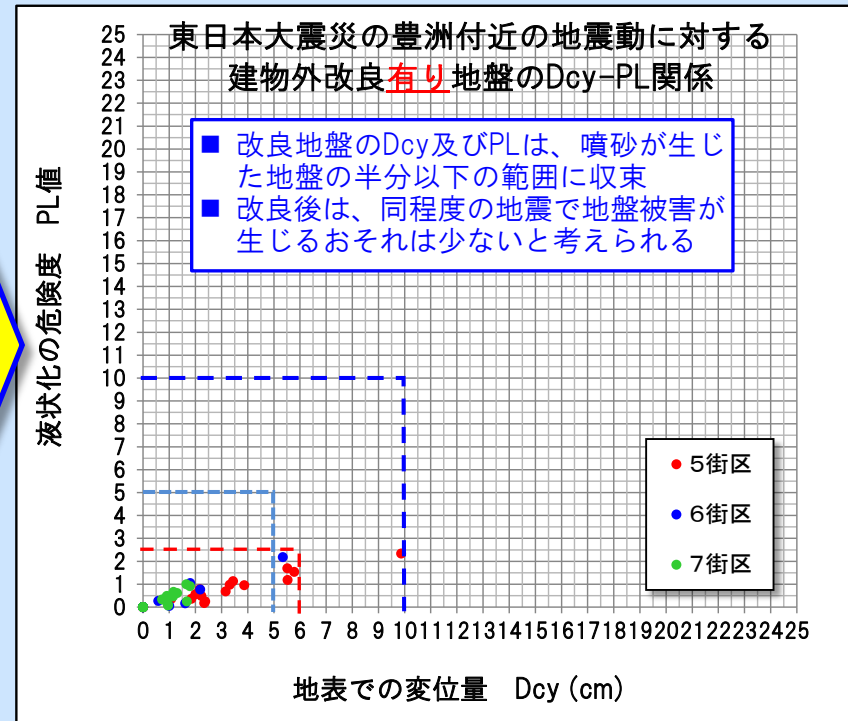
建物建設地の液状化判定結果【参考】

3.11の豊洲市場用地で発生した地震動に対して、改良後の地盤の安全性はどうか。

改良前地盤(3.11被災時)

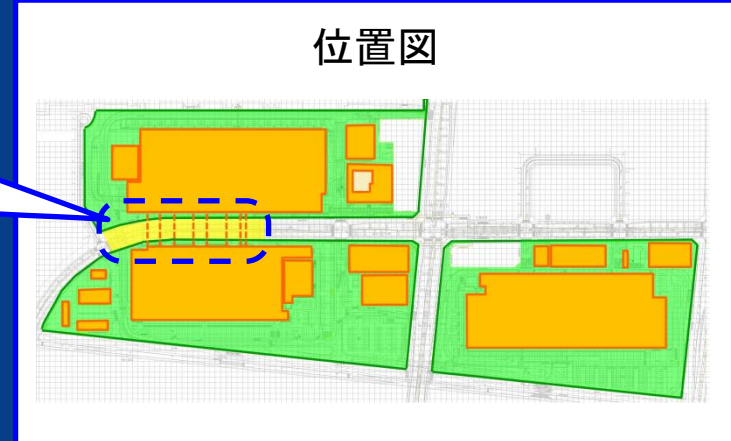
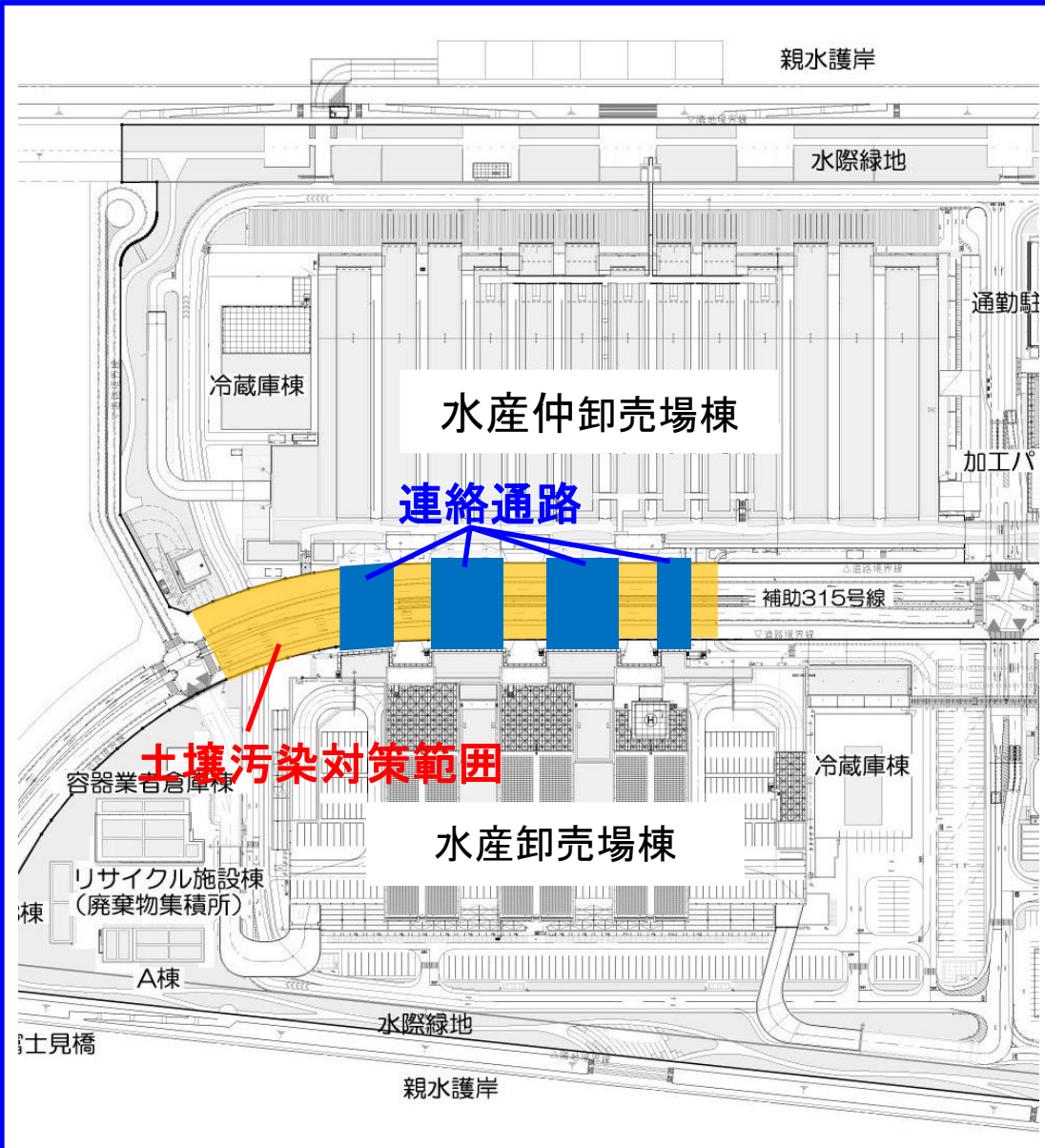


改良後地盤(チェックボーリング結果)



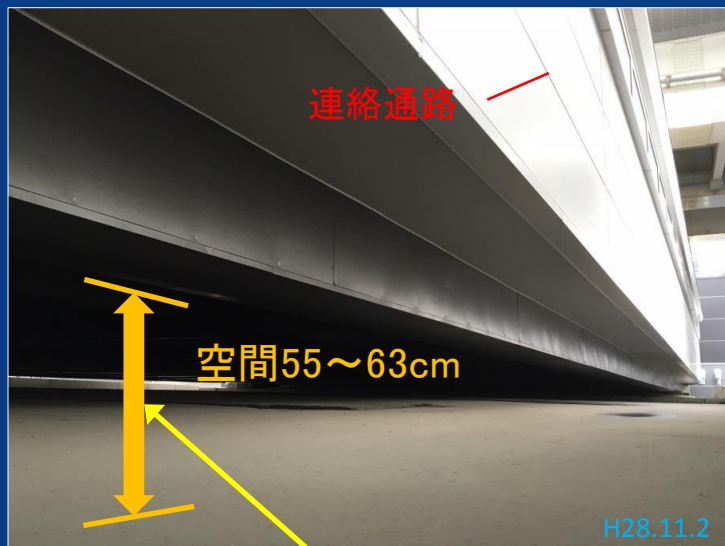
補助315号線高架下用地における 噴砂・噴水対策

補助315号線高架下用地の位置



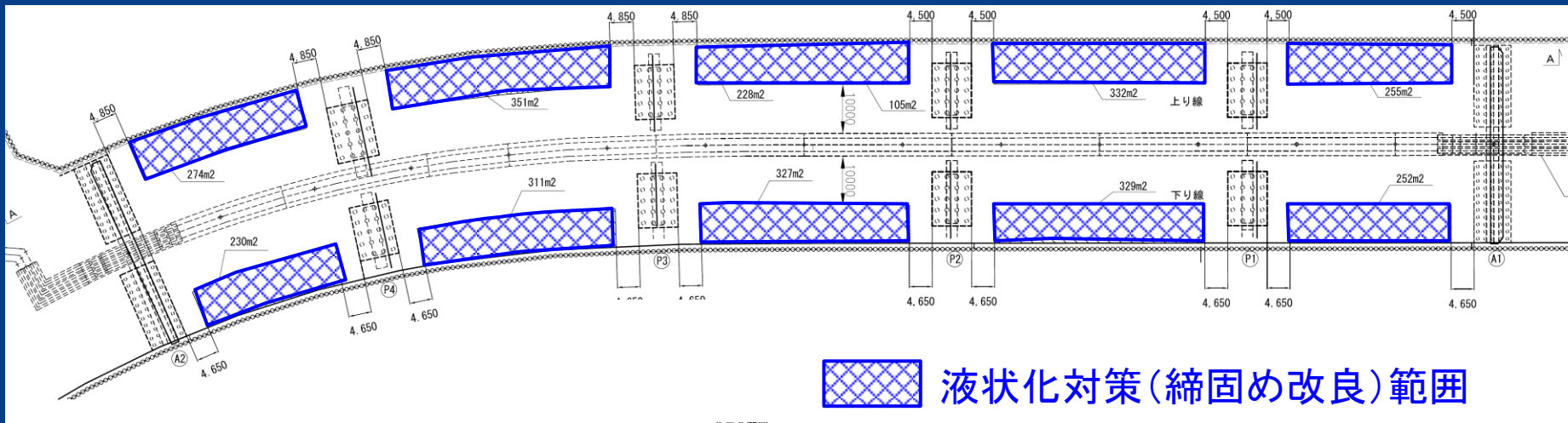
道路区域であるが、市場施設と一体的に使用することから、安全・安心を確保するため、**土壤汚染対策及び液状化対策を実施**

補助315号線高架下連絡通路の状況



連絡通路は地盤面とは接していない。

補助315号線高架下用地の現状



液状化対策

既設の高架橋やガス中圧管への影響範囲外で可能な限り対策を実施

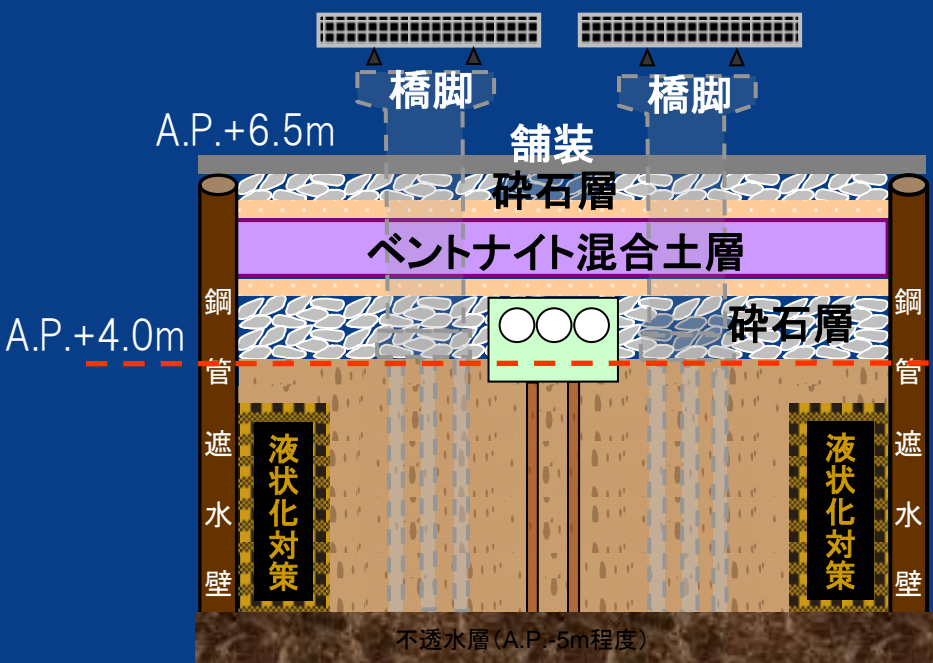
土壌汚染対策

AP+4.0まで入替え、ベントナイト混合土層及び舗装で封じ込め

→ 法の定め以上の対策実施

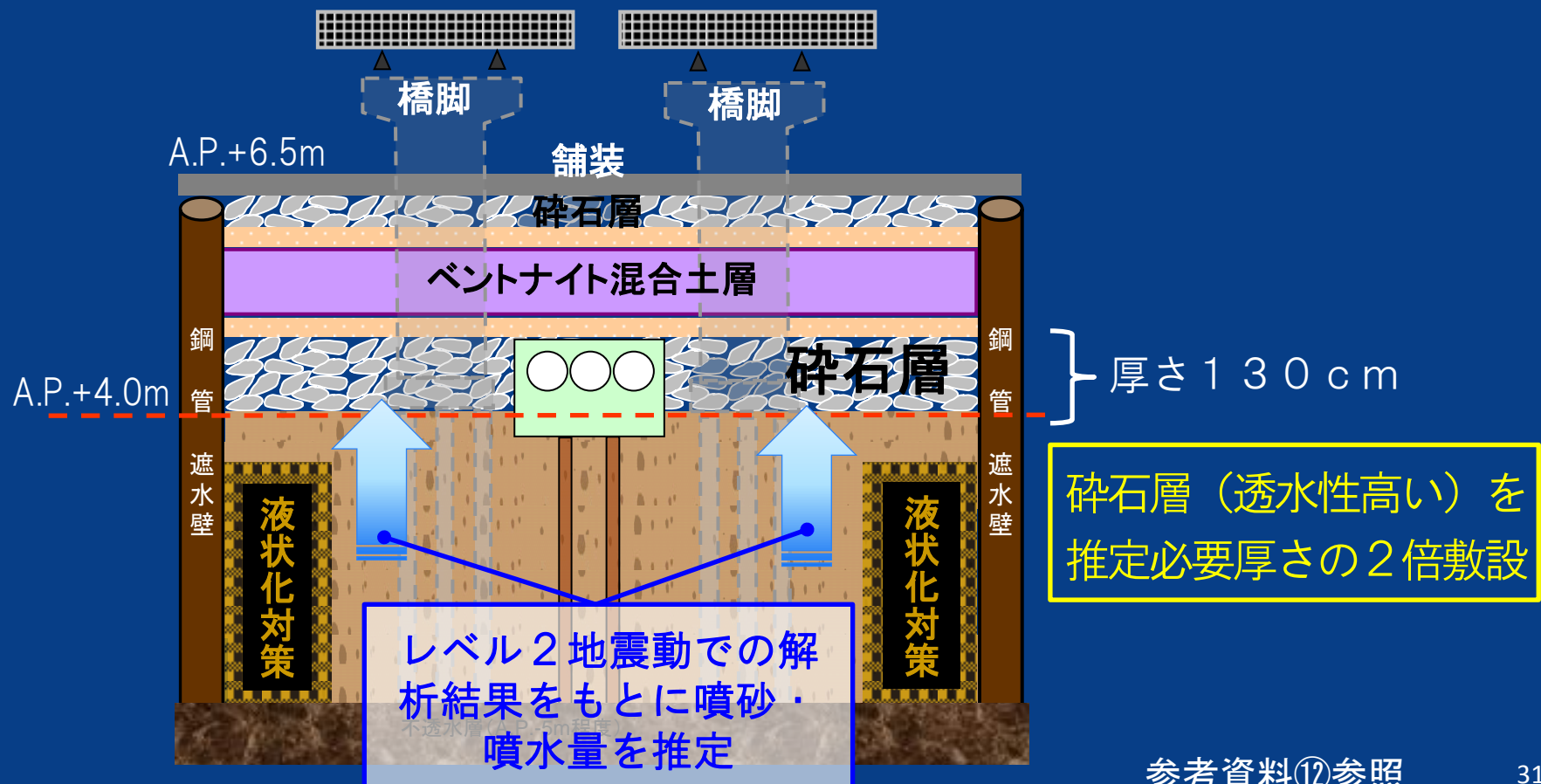


液状化層や汚染土壌が残っている



補助315号線高架下用地の噴砂・噴水対策

レベル2地震動により地中で液状化が起きた場合でも
地表面への噴砂・噴水を碎石層で防止



まとめ

■ 建物建設地の地盤

中地震(レベル1相当)及び大地震(レベル2相当)に対して目標とした改良効果が得られた

■ 建物建設地外の地盤

レベル1地震動に対して十分な締固めがなされたことで、大地震(レベル2相当)に対しても液状化の可能性が低い状態を確保できていることが確認できた

■ 補助315号線高架下の地盤

液状化に伴う噴砂・噴水の防止については、レベル2地震動を考慮した対策を講じている

参考資料

①

設計条件

	建物建設地	建物建設地外
主な適用基準	① 建築基礎構造設計指針 ② 建築物の構造関係 技術基準解説書 ③ 建築基礎のための 地盤改良設計指針案	④ 港湾の施設の技術上の 基準・同解説 ⑤ 埋立地の液状化対策 ハンドブック(改訂版)
設計地震動	<u>地表最大加速度200gal(中地震)</u> <u>地表最大加速度350gal(大地震)</u> ↑ 基準推奨値	<u>工学的基盤面最大加速度144.6gal</u> (レベル1地震動) ↑ 国土交通省公表値

- 350galとは、兵庫県南部地震などの際、液状化した地盤上で観測された最大値にほぼ対応(基準①p.64)
- 工学的基盤面とは、それよりも下にある全ての層が岩盤やN値50以上の砂質土層などのいずれかである土層の上面(基準④p.330)。設計ではAP-20~-40mの深度にあるN値 \geq 50のEs層に設定

②

建物建設地外の設計地震動 1

■ 地震動（基準④p.330、基準⑤p.30）

レベル1地震動は再現期間75年相当の地震動

レベル2地震動は再現期間数百年相当の地震動

■ 液状化対策の目的（基準⑤p.30）

想定地震動に対し、地盤・構造物が維持すべき機能を確保

■ 一般的な対策レベルの考え方（基準⑤p.30）

構造物の重要度によって異なり、例えば一般岸壁でレベル1、耐震強化岸壁でレベル2

③

建物建設地外の設計地震動 2

■ 液状化の検討について(基準④p.383)

レベル2地震動に対する地盤の液状化の検討は、各施設の性能照査等を参照し、総合的な検討に基づき、対策手法や実施の必要性を判断

■ 臨港交通施設(道路・駐車場)の性能規定(基準④p.1262～)

建物建設地外は主に構内道路及び駐車場。地震動の作用による損傷等を考慮した要求性能の規定があるのは、トンネル構造を有する道路、耐震強化施設等への接続道路であり、建物建設地外は基本的に該当しない



建物建設地外の液状化対策の想定地震動はレベル1に設定

④

液状化対策の施工深度

	建物建設地	建物建設地外
対策 深度	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>液状化すると判定された地層の下面まで</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>液状化すると判定された地層の下面まで</u> ■ ただし、<u>洪積層(Es層)</u>は東日本大震災等で液状化した事例がなく、一般に液状化判定の対象外としていること、また<u>不透水層の下部のYs層</u>は、液状化しても地盤被害を発生させないと考えられることから<u>対策の必要なし</u>とした <p>(参考; 基準⑤p.44,122 道路橋示方書V耐震設計編p.139)</p>

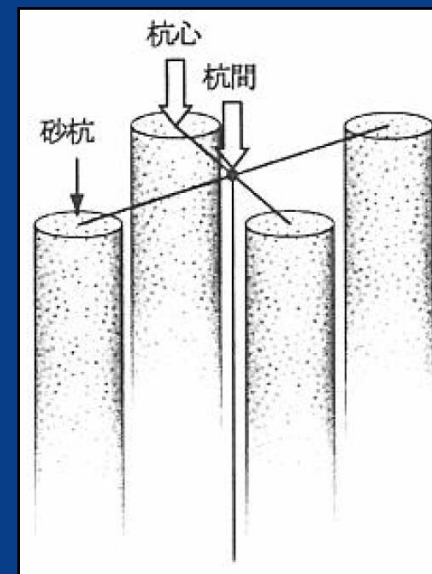
液状化判定方法は、参考資料⑥～⑦

⑤

チェックボーリング実施数量

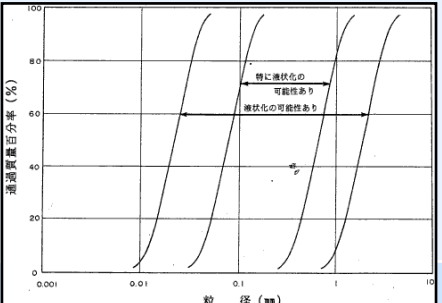
- 液状化対策の工事完了時に、必要な改良効果が得られているかを確認するチェックボーリングを実施
- 改良杭造成による締固め効果が最も弱い改良杭対角の杭間地盤で各地層のN値、Fc、Ip等を調査

	建物建設地		建物建設地外
5街区	青果棟	10か所	26か所
	小口買参棟	2か所	
	駐車場棟	2か所	
6街区	水産仲卸売場棟	28か所	18か所
	加工パッケージ棟	2か所	
	駐車場棟	2か所	
7街区	水産卸売場棟	17か所	17か所
	管理施設棟	4か所	
	容器業者倉庫棟	1か所	
	リサイクル施設棟	2か所	
	駐車場棟	3か所	
	計	73か所	61か所



⑥

液状化判定の方法 1

	建物建設地	建物建設地外
判定深度	<u>地表面(AP+2.0)から20m以浅</u> (基準①p.62)	<u>地表面(AP+6.5)から20m以浅</u> (基準⑤p.44,114)
判定土質	<ul style="list-style-type: none"> ■ 飽和した<u>沖積層</u> ■ 細粒分含有率(F_c)35%以下 ただし、埋立や盛土などの人工造成地盤は、F_cが35%より大きくても、塑性指数(I_p:粘性のある成形可能な状態の保ちやすさ)15%以下なら判定対象 (基準①p.62) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 土粒子の大きさの混合割合(粒度)の分布により液状化の可能性を判定 (基準⑤p.116) 
判定指標	<ul style="list-style-type: none"> ■ F_L (基準①p.64) 液状化発生に対する安全率 F_Lで1を超えると液状化の可能性なし ■ P_L (基準②p.439) 液状化の危険度で1以下のF_L値を深さ方向に重み付けして合計した値 ■ D_{cy} (基準②p.439) F_L値が1以下の層で生じる変位量を合計して求める<u>地表変位量(cm)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>等価N値</u> 各深度の<u>土層の締り具合(N値)</u>に対し、上載圧力や密度を同一条件に換算した数値 ■ <u>等価加速度</u> 地震応答解析結果を基に求める<u>各層に生じる加速度</u> (基準⑤p.117~)

7

液状化判定の方法 2

建物建設地

- 地表最大加速度200galに対して液状化の可能性がないこと($F_L > 1$)
- 地表最大加速度350galに対して次のいずれかを満足すること
 - a) $F_L > 1$
 - b) D_{cy} が5cm以下
 - c) P_L が5以下

ただし、設計ではb)、c)の両方を満足し、その際、 $F_L \leq 1$ は2か所までとした

判定
基準

表7.3-1 地盤変位略算値 (D_{cy}) と液状化の程度の関係¹⁾

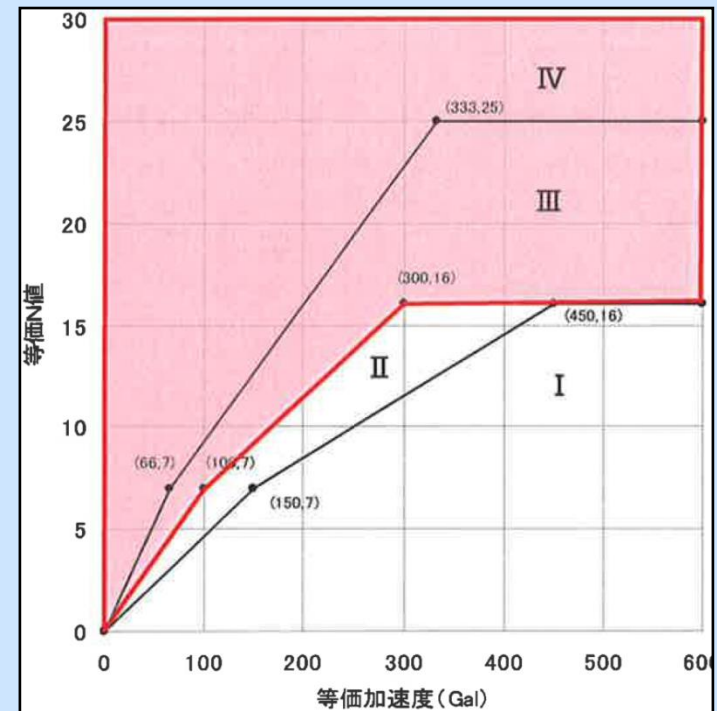
D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
5以下	軽微
5を超え10以下	小
10を超え20以下	中
20を超え40以下	大
40を超える	甚大

表7.3-2 P_L 値と液状化の危険度の関係²⁾

P_L	液状化の危険度
0	かなり低い
5以下	低い
5を超え15以下	高い
15を超える	極めて高い

(基準②p.439)

建物建設地外



- 各層の等価加速度と等価N値の関係が「液状化しない」と判定される範囲ⅢまたはⅣにあること

(基準⑤p.119,122)

⑧

チェックボーリング結果による液状化判定

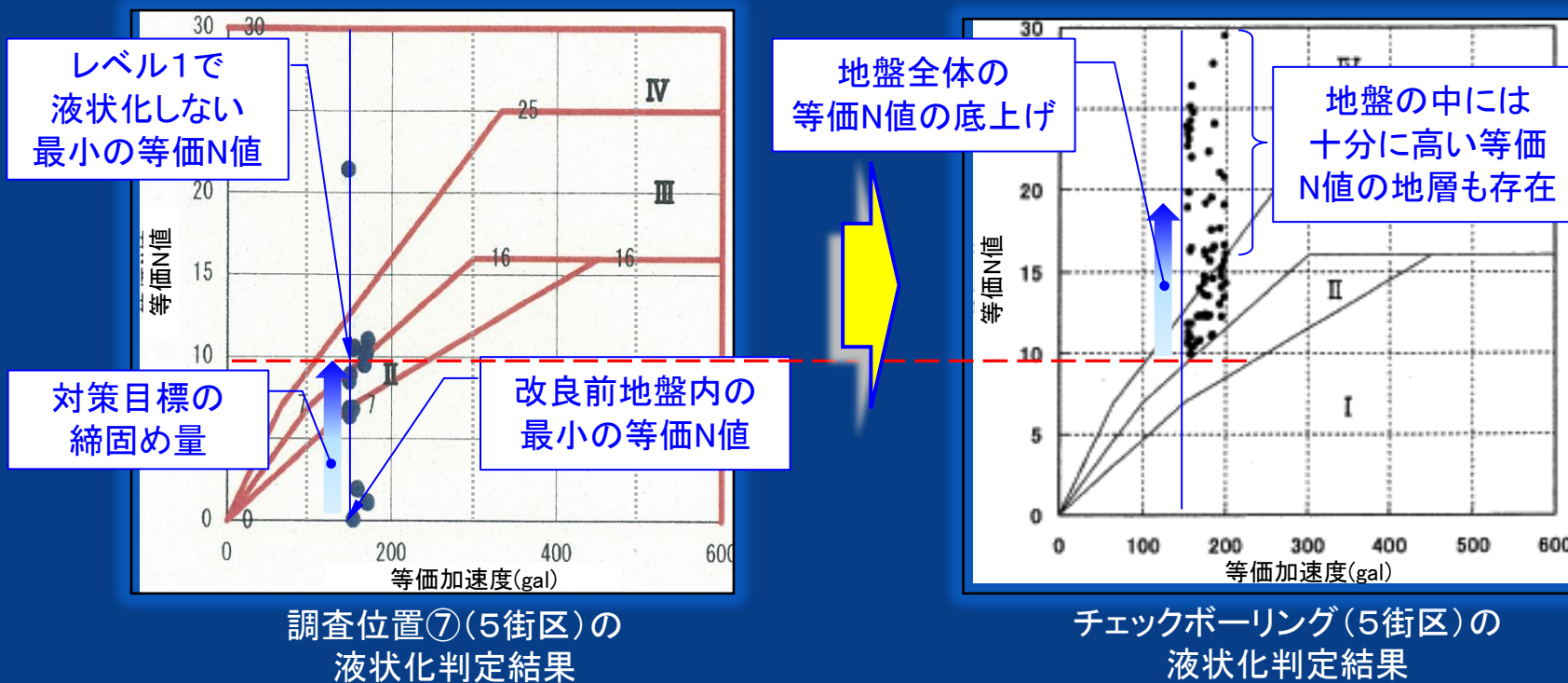
	建物建設地				建物建設地外
		200gal	350gal		
		最小 F_L	最大 P_L	最大 D_{cy}	
5街区	青果棟	1.284	2.444	0.877	<p>■ 各深度の地層で、想定地震動により生ずる等価加速度に対し、チェックボーリング結果から求まる等価N値が、<u>すべて液状化判定範囲Ⅲ以上</u>であることを確認</p>
	小口買参	2.109	0.000	0.000	
	駐車場棟	1.031	3.561	1.087	
6街区	水産仲卸	1.013	3.528	1.524	
	加工パケ	2.142	3.354	0.500	
	駐車場棟	1.589	0.652	0.607	
7街区	水産卸	1.015	4.740	1.778	
	管理施設	2.455	0.000	0.000	
	容器倉庫	1.960	3.889	0.508	
	リサイクル棟	2.323	0.000	0.000	
	駐車場棟	1.218	2.456	0.866	
判定	$F_L > 1:OK$	$P_L \leq 5:OK$	$D_{cy} \leq 5:OK$		

チェックボーリングの判定例(5街区)

⑨ 建物建設地外の締固め効果

最も液状化しやすい地層で対策目標を確保する締固め

改良後の地盤全体としては、対策目標よりも固く締め固め



レベル2地震動に対し、PL法で地盤全体の液状化危険度を評価

⑩

建物建設地外の液状化判定基準

■ 「建築基礎のための地盤改良設計指針案(一般社団法人日本建築学会)」における建物建設地外の液状化判定基準は下記のとおり

① 液状化時の地表面変位 $D_{cy} \leq 5 \sim 10 \text{ cm}$

② 液状化指数 $P_L \leq 5 \sim 10$

まず①について判定し、クリアしない場合は②を併用して判断

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot (10 - 0.5x) dx \quad (\text{ただし, } 1 - F_L \geq 1.0)$$

ここに, x : 深度 (m)

$P_L \leq 5$ 液状化程度は軽微

$5 < P_L \leq 20$ 液状化程度は中位

$20 < P_L$ 液状化程度は甚大

表4.3.3 D_{cy} と液状化の程度の関係^{4.3.17)}

D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
5	軽微
<u>5~10</u>	<u>小</u>
10~20	中
20~40	大
40	甚大

(基準③p.314~315、325)

⑪

建物建設地外の液状化判定基準

■ $D_{cy} \leq 5 \sim 10 \text{cm}$ とは (基準③p.326)

兵庫県南部地震の被害事例を分析した未改良地盤における D_{cy} と沈下量の関係から、沈下量が生じない(被害が軽微であると考えられる)と読み取ることができる限界値

■ $P_L \leq 5 \sim 10$ とは (基準③p.327)

$D_{cy} \leq 5 \sim 10 \text{cm}$ に対応する P_L の値は概ね7~12程度であり、やや安全側を考慮して設定

■ 限界値の幅は、建築物の用途、重要度等で判断 (基準③p.326)



構内道路及び駐車場は、変位による影響が小さいことを踏まえ、限界値を $D_{cy} \leq 10 \text{cm}$ 、 $P_L \leq 10$ に設定

⑫

補助315号線高架下の噴砂・噴水対策

■ 噴砂・噴水対策の考え方

液状化により地盤沈下が生じ、沈下量と同量の土砂や水が噴出するものとして、碎石層で地表への噴出を防止

■ 設計地震動と碎石層の推定必要厚さ

レベル2(元禄関東地震、東京湾北部地震)の地震応答解析を基に推定した沈下量は最大22cm

碎石層の必要厚さは、間隙率35%として $22\text{cm}/0.35 \div 65\text{cm}$

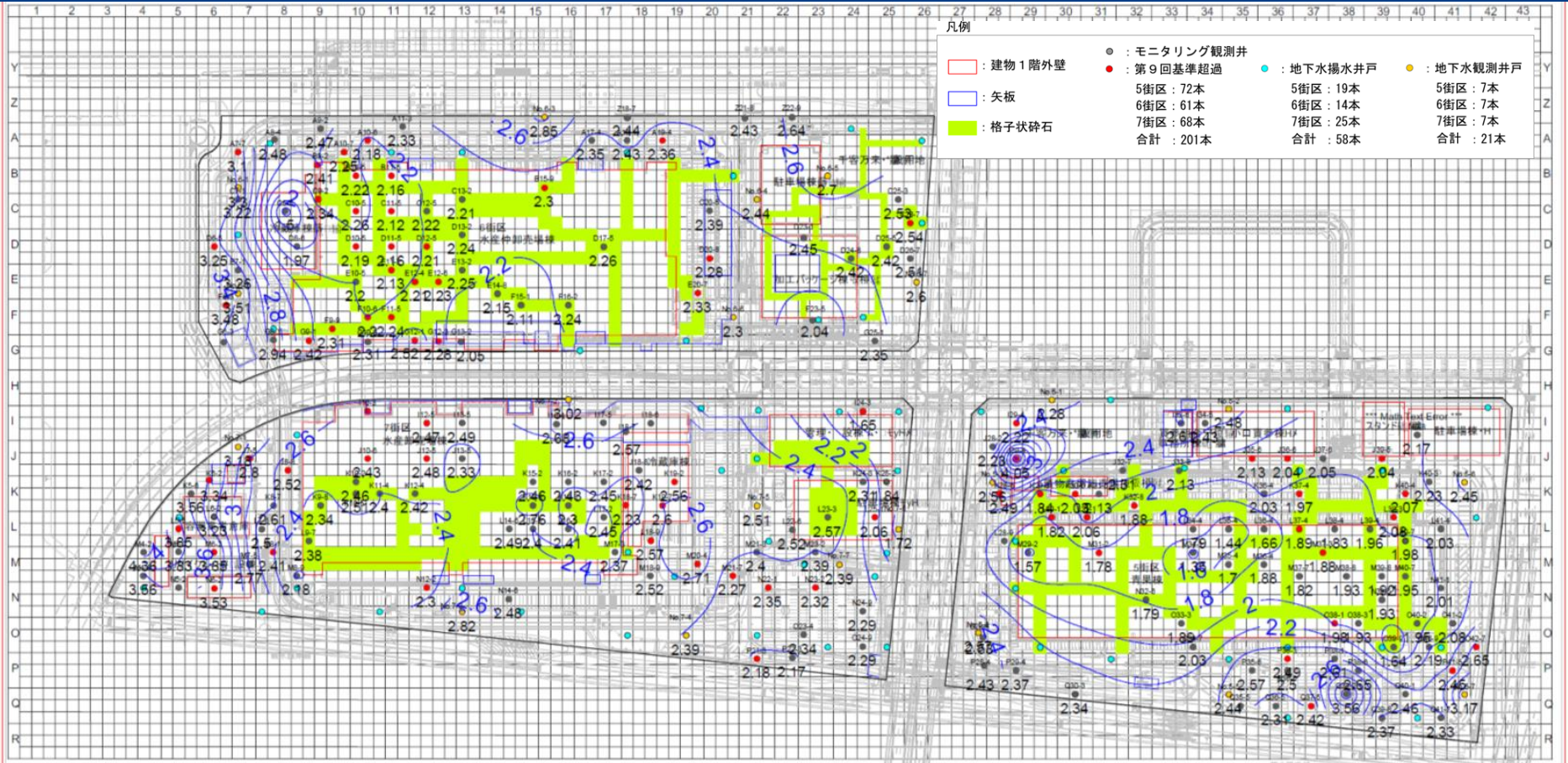
■ 確保可能な碎石層厚

既設構造物の基礎杭が露出しない掘削可能な深さは $A_p+4.0\text{m}$

土壌汚染対策として、舗装及びベントナイト混合土層を敷設する厚さを考慮すると、碎石層の設置に確保できる厚さは130cm

(推定必要厚の2倍)

平成29年2月下旬時点の地下水位



地下水位標高等値線図 (2017年2月21~24日地下水位一斉測定結果)

※1 測定日: 地下水管理システム観測井: 2月23日9:00測定値
 地下水モニタリング観測井 5街区: 2月22~24日、6街区: 2月21~23日、7街区: 2月23~24日