

# 豊洲市場の液状化対策と 築地市場における地盤工学的課題

平成29年8月10日

専門委員

(氏名) 時松 孝次

## 1 はじめに

豊洲市場建設予定地は、東京港内の隅田川（旧荒川）河口に形成された水中三角州の一部を浚渫・埋め立てたものであり、大地震の際に液状化の危険性があったことから、2009年2月の豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議報告書の提言に液状化対策の実施が盛り込まれている。実際、報告書から2年後に発生した2011年東北地方太平洋沖地震の際、豊洲市場建設予定地で液状化が発生している。東京都では、豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議の専門家と現地踏査を行い、「技術会議が提言した液状化対策を確実に実施することで、大規模な地震時にも噴砂による被害が生じるおそれはない。」との見解を示している。これにしたがって、2011年11月より土壌汚染対策工事、引き続いて建物敷地外の液状化対策工事が、2014年2月より主要3棟建物建設工事開始に伴って建物敷地内の液状化対策工事が行われ現在に至っている。しかし、直下型や震源がより近い海溝型地震など、より大きな地震動により、液状化対策地盤に万一液状化が生じた場合には、新市場の事業継続あるいは液状化に伴って噴出した汚染土壌により食の安心・安全が脅かされる可能性が指摘されている。また、築地市場も埋立地を含み、また土壌汚染の可能性も否定できないことから、万一再開発となった場合には、再開発特有の課題に加えて豊洲市場建設予定地と同様の地盤工学的問題が発生する可能性がある。

本報告書では、豊洲新市場予定地の液状化対策と対策後の液状化危険度についての調査結果を示すとともに、築地市場再開発に伴う地盤工学的課題についてまとめる。

## 2 豊洲の地歴

### 2. 1 地形概要

豊洲市場建設予定地は、東京港内の隅田川（旧荒川）河口に形成された水中三角州の一部を浚渫・埋め立てたものである。東京湾の埋立は江戸時代初期より始まるとされ、予定地の位置する豊洲六丁目付近は、戦後の埋立工事により造成されたものである。5、7街区の地盤面は A. P. +6. 5m、6街区は A. P. +4. 0m で、その大部分が平坦であるが、部分的に盛り土による高低差が生じている。

### 2. 2 東北地方太平洋沖地震での液状化

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の際、豊洲市場建設予定地では地盤改良は行われておらず、東京都の実施した調査により、図2. 1、写真2. 1、2. 2のように5、6街区において合計108箇所の噴砂が確認されている。

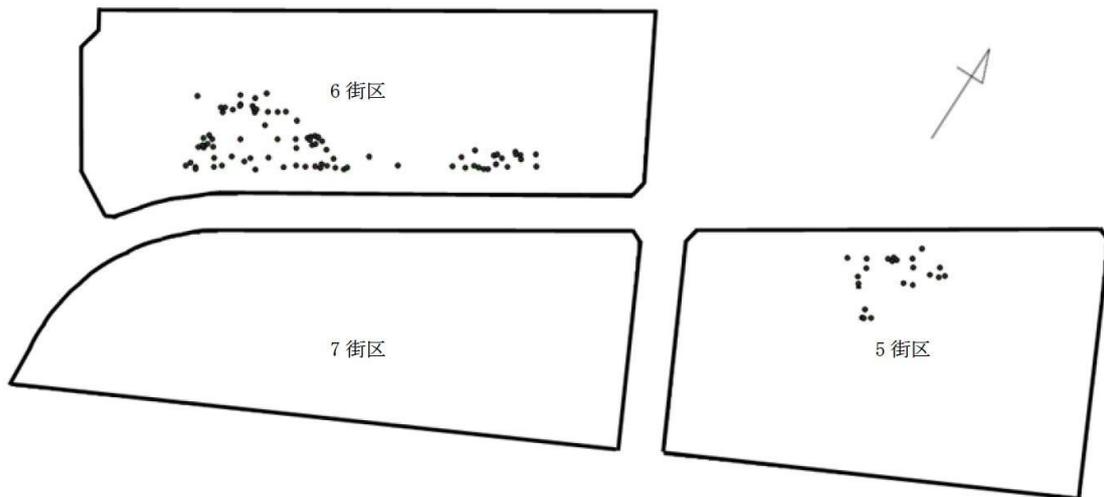


図2. 1 東北地方太平洋沖地震での噴砂分布



写真2. 1 小さな噴砂



写真2. 2 比較的大きな噴砂

### 2. 3 液状化の状況と液状化対策についての見解

豊洲新市場予定地の土壌汚染対策工事に関する技術会議の専門家による液状化の状況と液状化対策についての見解は以下の通りである。

- 1) 5、6街区の噴砂が確認された箇所は地下水位が浅く、噴砂が見られなかった7街区等では地下水位が深いことから、噴砂は地下水位の影響が大きいと考えられる。
- 2) 新市場予定地の噴砂は部分的なものであり、一箇所当たりの噴砂量も平均約0.3 m<sup>3</sup>に過ぎず、大半は0.1 m<sup>3</sup>以下であることから、小規模でもあった。
- 3) 噴出した土は、粒度の整った砂質土の中に、細かく砕けた多量の貝殻片の混入が見られることから、浚渫埋土層が噴出したものと考えられる。
- 4) 新市場予定地をはじめ、東京湾岸埋立地各地の液状化の発生状況から見て、液状化したのは埋土層であり、有楽町層などの沖積層は液状化していないと考えられる。
- 5) 液状化対策をしていない埋立地では、今回のような地震により、液状化が発生して当然である。
- 6) 液状化対策が行われている場所では、被害が生じておらず、対策工法の有効性が確認されている。
- 7) 技術会議が提言した液状化対策を確実に実施することで、大規模な地震時にも噴砂による被害が生じるおそれはない。

上記の見解を受け、液状化対策について技術会議の提言である以下の方針が確認されている。

- 1) 現地の地質状況に応じ、阪神・淡路大震災でも実績のある、格子状固化工法や砂杭締固め工法による液状化対策を行う。
- 2) 市場施設完成後に、地下水位を A. P. +1.8m に維持することにより、液状化しない表層を 4.7m 確保する。

### 3 地盤改良前の地盤特性と液状化危険度

#### 3. 1 地盤改良前の地盤特性

液状化対策を検討するにあたり、地盤構成等を把握するため、図3. 1に示す5-7街区1-8の8箇所で地盤調査を行った。

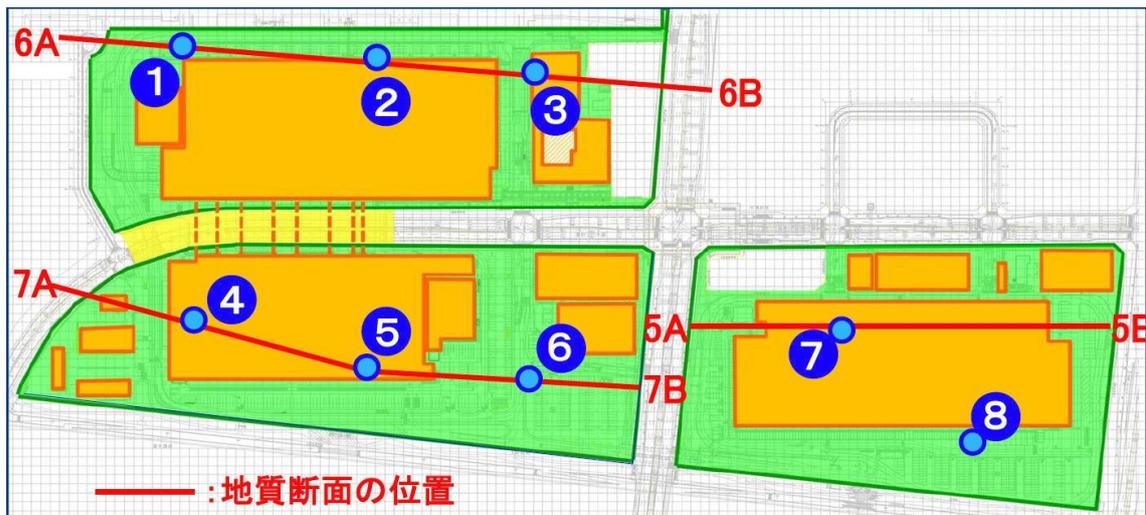


図3. 1 地盤改良前の地盤特性

図3. 2-3. 4に、地盤調査から求めた5-7街区の地盤断面図、表3. 1に凡例を示す。表層地盤は、砂質土と粘性土からなる浚渫土で構成された埋土の上に建設発生土等の土砂が盛り立てられている。浚渫土の下には軟弱な有楽町層が分布し、その下には締まった砂質土や砂礫からなる江戸川層がある。地質区分は、表層から順に盛土・埋土 (Hg, Hs, Hc)、有楽町層 (Ys, Ysc, Yc, Yg)、江戸川層 (Es, Ec, Eg)、上総層群 (K) となっている。各街区ともほぼ水平成層であるが、6街区と7街区の大部分ではYc層が非常に厚い (20m程度の部分もある) のに対して、5街区と7街区の一部ではYc層が2m程度となっている。図中に黄色で示した部分が液状化判定の対象とした地層で、主として埋立層 (Hs)、沖積層 (Ys) の砂質土で構成されている。



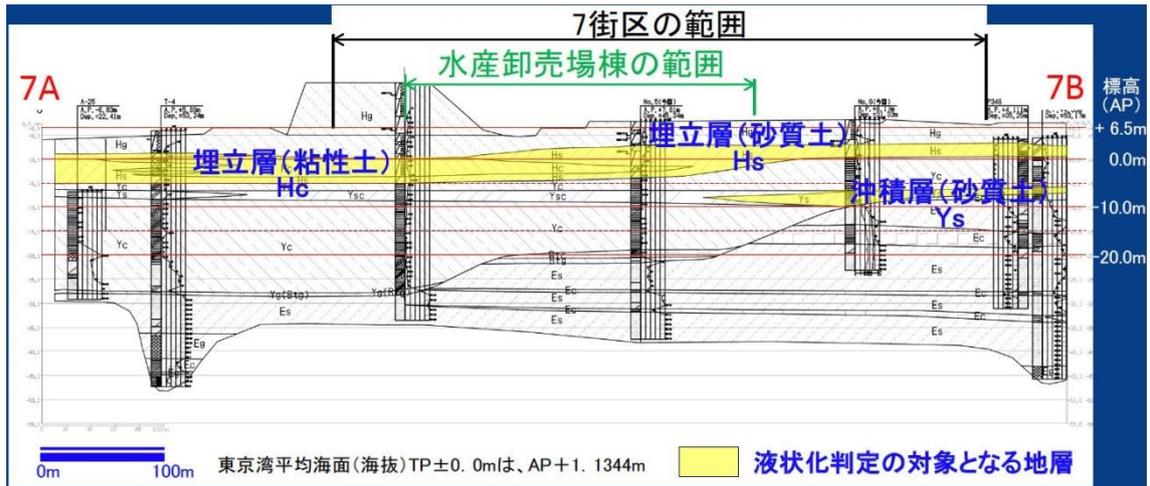


図 3. 4 7 街区の地盤断面図

表 3. 1 地盤断面図の凡例

地質時代	地層名	層相・土質	記号	N 値 (平均値)	特徴	
新 世 ・ 第 四 紀	完 成	礫混じり土砂 (残土、瓦礫)	Hg	1~ 50以上	コンクリート片やレンガ片、礫等を混入する 礫質土や礫混じり土砂よりなる。残置基礎の 一部も含む。	
		砂質土	Hs	1~11 (5)	主に浚渫により形成された貝殻混じり砂質土 よりなる。含水量多く、緩い。一部、薄い粘 性土と互層状を呈する。貝殻片を多量に含む 特徴がある。	
		粘性土	Hc	1~8 (3)	浚渫により形成された軟弱な粘性土と礫等を 混入する建設残土系の粘性土（ローム質土も 含む）よりなる。	
	新 世	沖 積 層	砂質土	Ys	1~8 (5)	含水量が多く、非常に細かい細砂よりなる。細 粒分を含む。有楽町層の最上部付近に主に分 布しており、埋土とした浚渫土（砂質土Hs） と類似した層相を示す。見かけはHsより貝殻 片の混入が少ない。
			中間土 (砂質シルト主体、 一部シルト質砂)	Ysc	1~5 (3)	微細砂や細砂層を頻りに挟む粘性土からなり、 部分的にはシルト質細砂状である。A.P.-6.5m~ 9.0m付近に分布するYs層にほぼ連続する。貝殻 片をしばしば多量に含む。
			粘性土	Yc	0~6 (1)	非常に軟弱なシルトよりなる。砂分の混入の 多い部分が見られるが、全体にはほぼ均質な シルトで構成される。最上部は埋土の粘性土 Hcとの区分が不明瞭である。基底部付近は褐色 を帯びる有機質なシルトが分布する。
			砂 礫	Yg	20~38 (27)	6街区の沖積層基底部に分布する厚さ2m弱の 緩い砂礫層と環状2号線と補助315号線の交差 部付近の沖積層中に挟まれるほぼ締まっている 砂礫層からなる。6街区の砂礫層は、埋没 段丘礫層Btgの可能性もある。今回の調査で は後者の沖積層中に挟まれる砂礫層は確認し ていない。
	更 新 世	七号地層	—	N	—	今回未確認
		埋没段丘堆積層	粘性土	Btc	1~5 (4)	有機質なローム質土よりなる。7街区の有楽 町層下に分布が確認された。
			砂 礫	Btg	31~42 (37)	φ2mm~30mmくらいの円礫を主とする砂礫層 で厚さは0.4m~2m弱である。含水量多く、や やルーズである。
東京層		—	T	—	今回未確認	
江 戸 川 層		砂質土	Es	6~ 50以上 (50)	主に密に締まった砂層で構成され、微細砂から 粗砂、礫混じり砂まで種々の粒径の砂層より なる。5街区や7街区の沖積層などの被覆層 直下の部分はやや緩い部分が認められる。こ れらの部分は東京層（晴海層）に相当する可 能性もある。	
	粘性土	Ec	11~ 50以上 (30)	5街区のA.P.-15m~20m付近に分布する。一 部固結状を呈する硬質な粘性土である。地層 の厚さの変化が著しい。このほかにEs層中に 薄く挟まれる粘性土も含む。		
	砂 礫	Eg	71~ 50以上 (110)	6街区でのみ確認した。φ2mm~50mmくらいの 円礫、亜円礫よりなる密に締まった砂礫層で ある。礫はほぼ新鮮で硬質なものが多い。直 下の上総層群を覆うように分布する。		
上総層群	固結シルト (軟岩)	K	50以上 (80)	全体に砂分を少量含む固結シルトで構成され る。いわゆる「土丹」とよばれる地層に相当 する。被覆層との境界部はやや軟質となる が、主体はほぼN値50以上を示している。既 往資料では砂層をしばしば挟む。		

### 3. 2 地盤改良前の液状化危険度

図3. 5は、各街区で得られた代表的なN値と基礎構造設計指針に基づいて求めた中地震（レベル1相当）における液状化に対する安全率の平均FL値及び最小FL値を示している。埋立層（Hs）、沖積層（Ys）の砂質土部分のN値はいずれも6以下で極めて低いことがわかる。また対応する液状化に対する安全率の平均値は0.75以下（最小値は0.57以下）となっており、液状化の可能性が高いことがわかる。

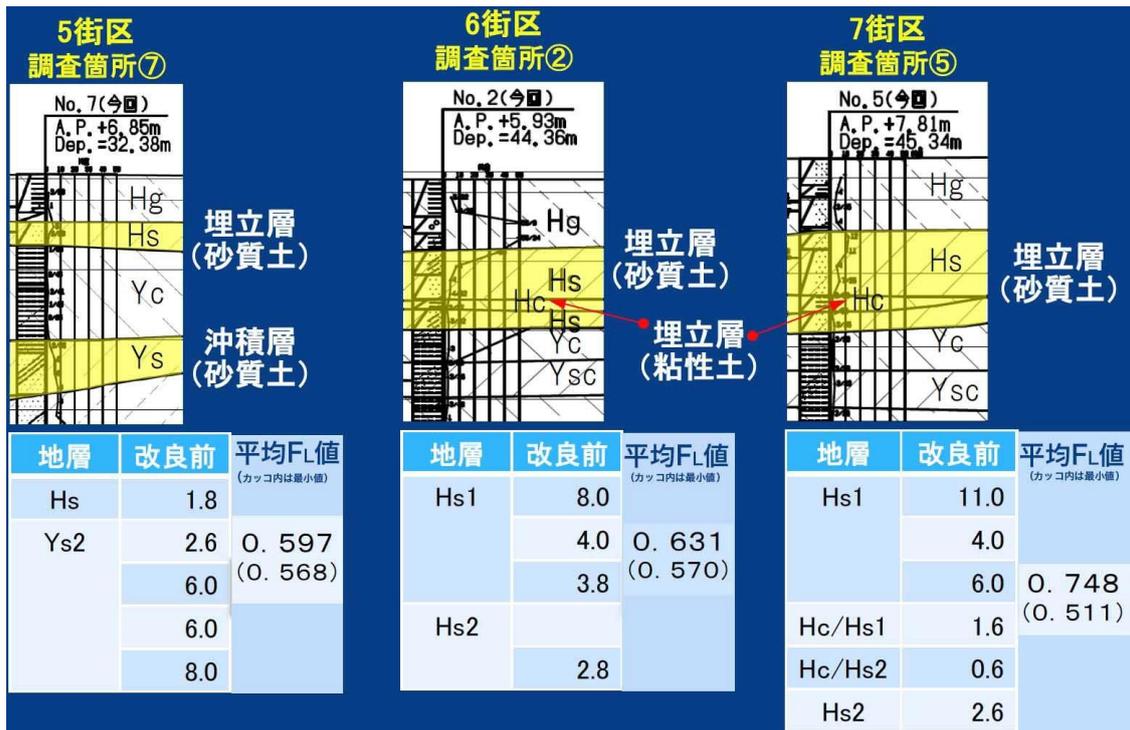


図3. 5 各街区で得られた代表的なN値と基礎構造設計指針に基づいて求めた中地震（レベル1相当）における液状化に対する安全率の平均FL値及び最小FL値

#### 4 液状化対策の考え方

##### 4. 1 5-7街区の建物敷地内外での液状化対策

豊洲市場建設に伴う建物敷地内での液状化対策の目標は以下のとおりである。

- 1) 中地震（レベル1相当）に対して、液状化しない。
- 2) 大地震（レベル2相当）に対して、液状化の可能性が低い。

なお、中地震、大地震の定義は以下のとおりである。

- 1) 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。
- 2) 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。

ここでは設計対象が建物であることから、建築基礎構造設計指針にしたがって検討を行っている。

一方、5-7街区の建物建設地外の液状化対策の目標は以下のとおりである。

- 1) 中地震（レベル1相当）に対して、液状化しない。
- 2) 大地震（レベル2相当）に対しては、補修補強で対応。

ここでは対象地盤が埋立地であることから、港湾の施設の技術上の基準・同解説にしたがって検討を行なっている。

表4. 1-4. 4は、建物建設地内外の液状化判定で採用した設計基準等と地震動、対象深度・土質と判定指標、判定基準、液状化対策深度についてまとめている。

表4. 1 建物建設地内外の液状化判定に用いた設計規準等と地震動

	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	地表最大加速度200gal(中地震) 地表最大加速度350gal(大地震) ↑ 基準推奨値	工学的基盤面最大加速度144.6gal (レベル1地震動) ↑ 国土交通省公表値

表 4. 2 建物建設地内外の液状化判定における対象深度・土質、判定指標

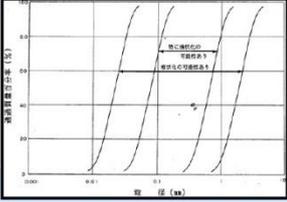
	建物建設地	建物建設地外
判定深度	地表面(AP+2.0)から20m以浅 (基準①p.62)	地表面(AP+6.5)から20m以浅 (基準⑤p.44,114)
判定土質	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 飽和した沖積層</li> <li>■ 細粒分含有率(<math>F_c</math>) 35%以下 ただし、埋立や盛土などの人工造成地盤は、<math>F_c</math>が35%より大きくても、塑性指数(<math>I_p</math>: 粘性のある成形可能な状態の保ちやすさ) 15%以下なら判定対象 (基準①p.62)</li> </ul>	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

表 4. 3 建物建設地内外の液状化判定における判定基準

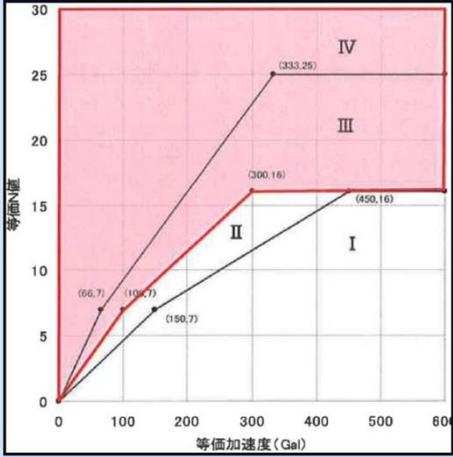
	建物建設地	建物建設地外																								
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地表最大加速度200galに対して液状化の可能性がないこと(<math>F_L &gt; 1</math>)</li> <li>■ 地表最大加速度350galに対して次のいずれかを満足すること               <ol style="list-style-type: none"> <li><math>F_L &gt; 1</math></li> <li><math>D_{cy}</math>が5cm以下</li> <li><math>P_L</math>が5以下</li> </ol>               ただし、設計ではb)、c)の両方を満足し、その際、<math>F_L \leq 1</math>は2か所までとした             </li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <table border="1" style="font-size: small;"> <caption>表7.3-1 地盤変位略算値 (<math>D_{cy}</math>) と液状化の程度の関係</caption> <thead> <tr> <th><math>D_{cy}</math> (cm)</th> <th>液状化の程度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>なし</td> </tr> <tr> <td>5以下</td> <td>軽微</td> </tr> <tr> <td>5を超え10以下</td> <td>小</td> </tr> <tr> <td>10を超え20以下</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>20を超え40以下</td> <td>大</td> </tr> <tr> <td>40を超える</td> <td>甚大</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="font-size: small;"> <caption>表7.3-2 <math>P_L</math> 値と液状化の危険度の関係</caption> <thead> <tr> <th><math>P_L</math></th> <th>液状化の危険度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>かなり低い</td> </tr> <tr> <td>5以下</td> <td>低い</td> </tr> <tr> <td>5を超え15以下</td> <td>高い</td> </tr> <tr> <td>15を超える</td> <td>極めて高い</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>(基準②p.439)</p>	$D_{cy}$ (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	$P_L$	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	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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)</li> </ul>
$D_{cy}$ (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																									
$P_L$	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																									

表 4. 4 建物建設地内外の液状化対策深度

	建物建設地	建物建設地外
対策深度	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <u>液状化すると判定された地層の下面まで</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <u>液状化すると判定された地層の下面まで</u></li> <li>■ 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</li> </ul> <p>（参考；基準⑤p.44,122 道路橋示方書V耐震設計編p.139）</p>

検討の結果、液状化対策として、5-7街区では建物敷地内外ともに、主として地盤締固め工法が、一部でその他の工法が採用されている。地盤締固め工法としては、砂杭締固め工法・碎石杭締固め工法、静的締固め固化改良工法、静的締固め工法（碎石杭）、砂圧入式静的締固め工法が用いられ、その他の工法としては、格子状固化改良、高圧噴射攪拌改良、浅層混合改良が用いられている。これらはいずれも過去の地震でその有効性が確認されているものである。各工法の適用地域は図 4. 1 に示すとおりである。

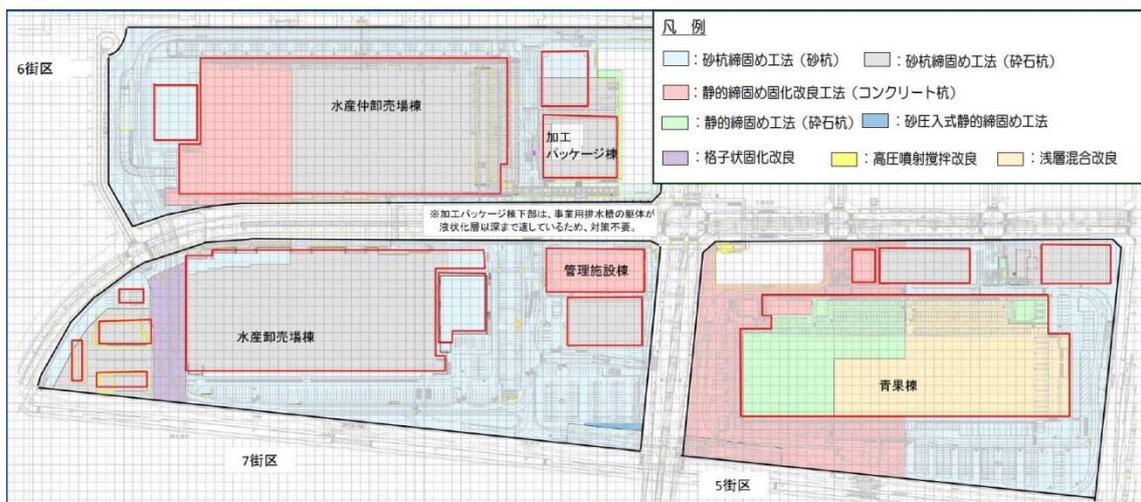


図 4. 1 液状化対策として用いた地盤改良工法

工法の選択は液状化地盤の層厚、層序などの地盤条件などにより選択されている。たとえば、図4. 2のように液状化層に不透水層（赤で示す粘性土層）を含む場合は、静的締固め固化改良工法（コンクリートによる固化杭）が、液状化層に不透水層を含まない場合は、砂杭締固め工法が選択されるなどである。

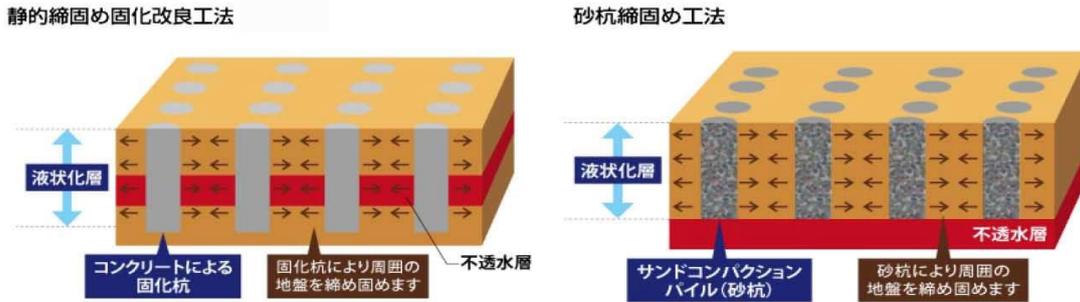


図4. 2 地盤条件と工法の選択

また、建物建設地内外の対策目標の違いは、図4. 3に示すように締固めに用いた杭の打設間隔として反映されている。すなわち、建物建設地外では2m間隔正方形配置に対して、建物建設地内では1.5m間隔正方形配置で行われており、地盤がより密に締固められている。

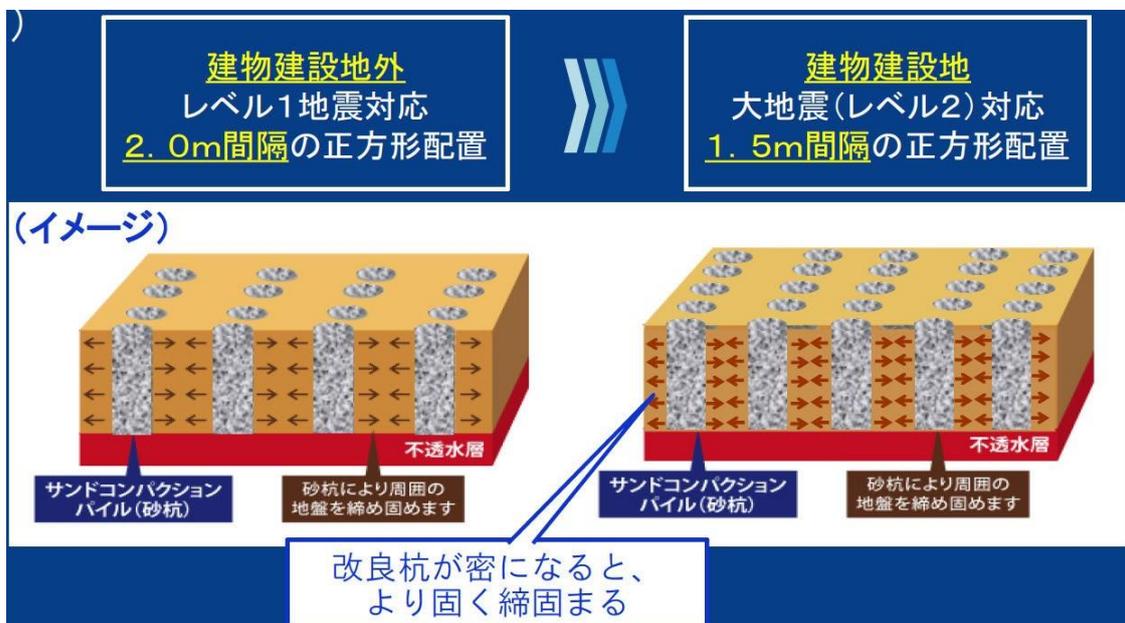


図4. 3 建物建設地内外の地盤締固め対策のイメージ

#### 4. 2 補助315号線高架下用地の噴砂・噴水対策

6、7街区の建物は、東西に走る補助315号線高架下の連絡通路で繋がれている（写真4.1）。図4.4は、その配置図を示している。連絡通路は市場外となる地盤面とは接していないが、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、万一液状化した場合にも、噴砂が地表に噴出しないような土壌汚染対策及び液状化対策を検討している。

対策は、大地震（レベル2相当）の際、たとえ地中で液状化が起きた場合でも、地表面への噴砂・噴水を地下水位より上に敷き詰めた碎石層で防止するという考えに基づいて実施されている。

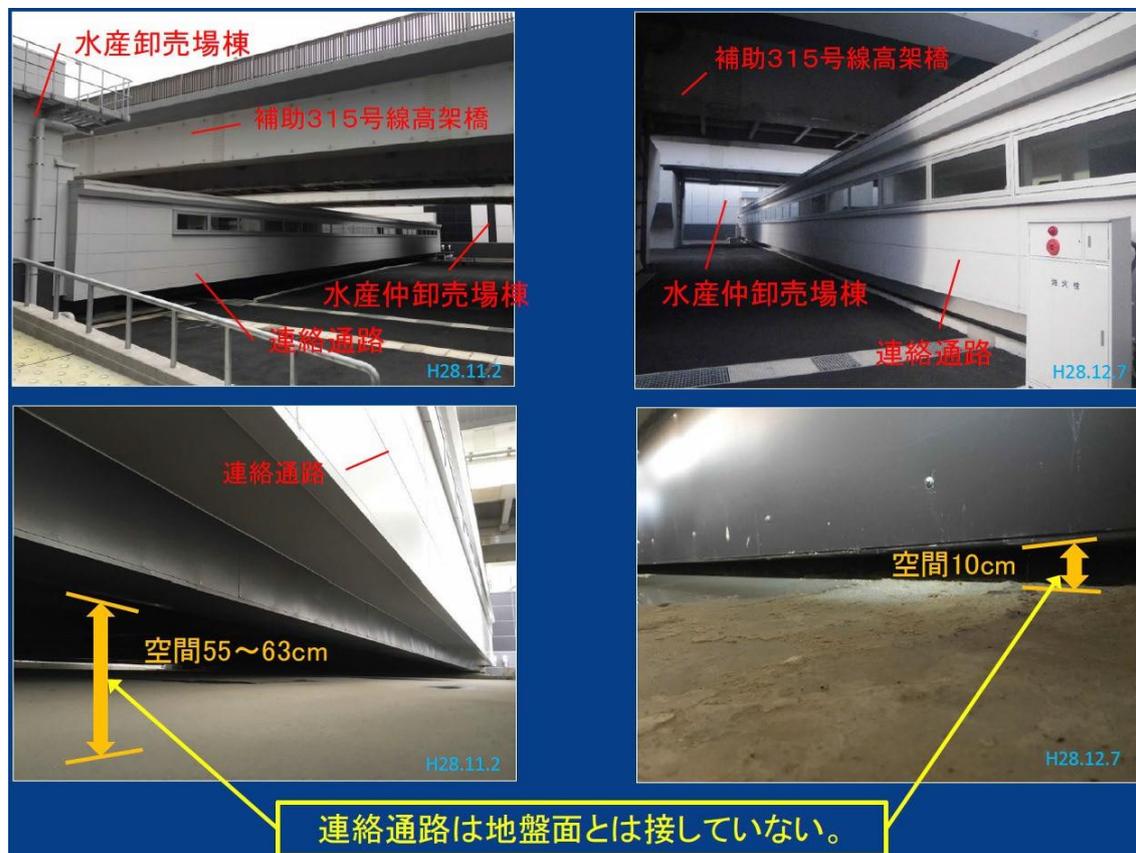


写真4. 1 補助315号線高架下の連絡通路



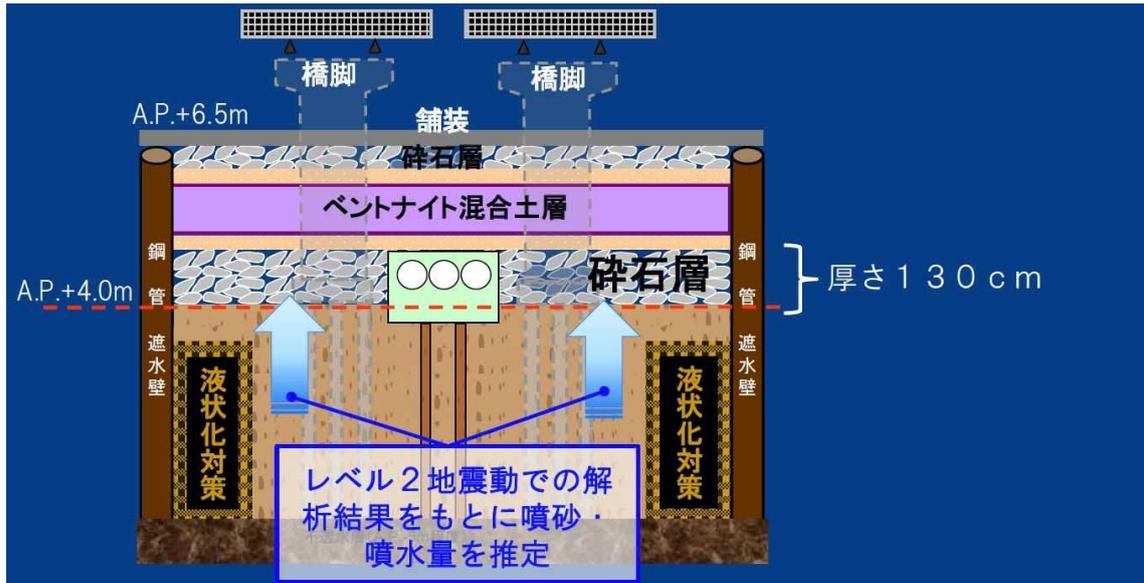


図4. 6 補助315号線高架下用地の噴砂・噴水対策

## 5 地盤改良後の地盤特性と液状化危険度

### 5. 1 地盤改良後の地盤特性

液状化対策としての地盤締固め改良効果を確認するため、ボーリング・標準貫入試験を、図5. 1、表5. 1に示すように建物建設地内の73箇所、建設地外の61箇所で行っている。

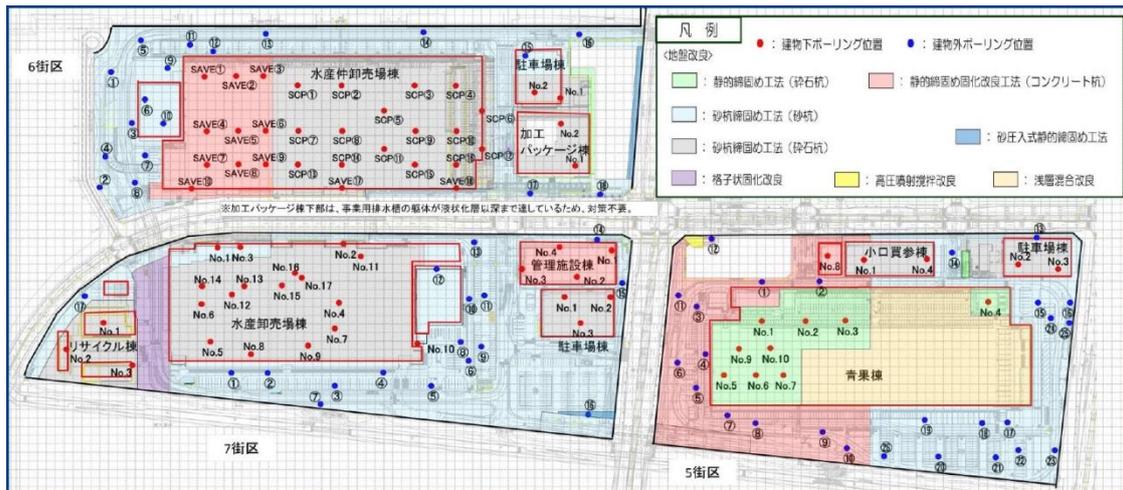


図5. 1 地盤締固め改良効果を確認するためのボーリング、標準貫入試験位置図

表5. 1 地盤締固め改良効果を確認するためのボーリング、標準貫入試験数

	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	
	<b>計</b>	<b>73か所</b>	<b>61か所</b>

5. 2 建物建設地内の液状化対策の効果

図5. 2は、建物建設地内の各街区における改良前後の液状化対象層のN値を比較している。いずれの街区でも改良後のN値が改良前に比べて大きくなっており、地盤締固めの効果が確認される。

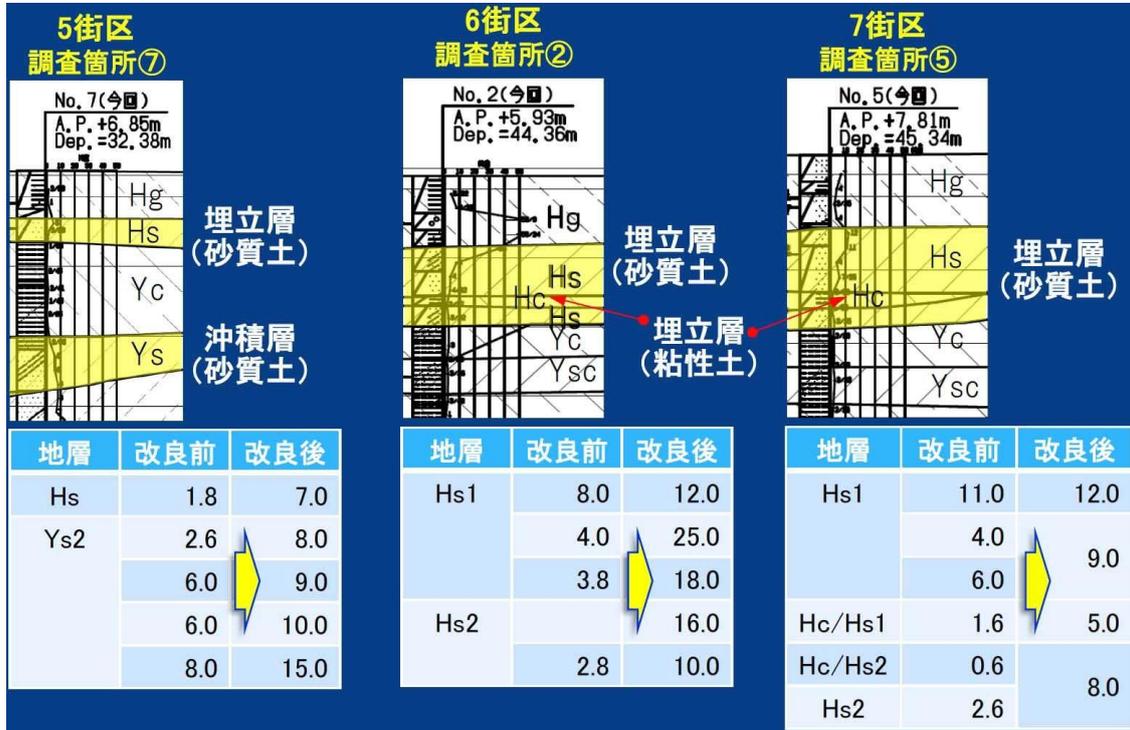


図5. 2 各街区の改良前後の液状化対象層のN値の比較

表5. 2は、建物建設地内の各街区の建物棟ごとに、改良前後における中地震（レベル1相当）に対する液状化安全率 FL の平均値と最小値（カッコ内）を示している。地盤改良前の安全率は0.8以下であったが、地盤改良後は、いずれも1.3以上2.8まで改善され、液状化の可能性がないと判断されており、4章の対策目標を満足している。

表5. 2 各街区の建物棟ごとの改良前後の液状化に対する安全率の比較

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

図5. 3は、建物建設地内各点について、改良前後における大地震（レベル2相当）に対する液状化の危険度 PL 値と推定地表変位  $D_{cy}$  の関係を示している。地盤改良前は、7割以上の地点が  $PL < 5$  かつ  $D_{cy} < 5$  を満足していなかったが、地盤改良後は、全ての地点で  $PL < 5$  かつ  $D_{cy} < 5$  を満足しており、地盤改良設計指針の基準を満足しており、液状化の危険度がなしから軽微の状態に収まっていると判断される。

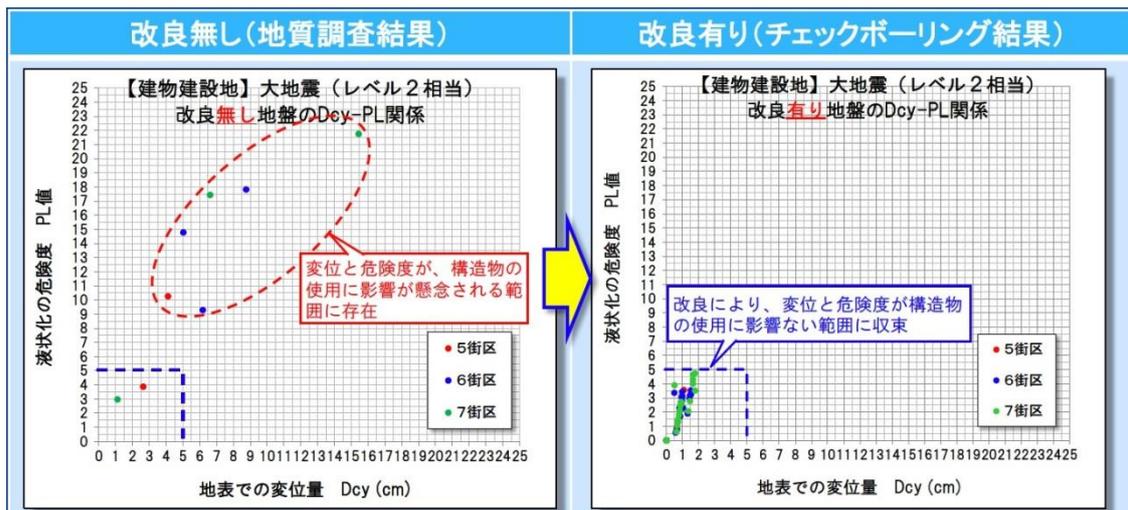


図5. 3 建物建設地内の地盤改良前後における大地震（レベル2相当）に対する液状化の危険度 PL 値と推定地表変位  $D_{cy}$  の関係

### 5. 3 建物建設地外の液状化判定結果

図5. 4は、港湾の施設の技術上の基準・同解説にしたがって検討した建物建設地外の地盤改良前後における中地震（レベル1相当）に対する液状化判定結果である。地盤改良前はほぼ全ての点が対策目標等価N値である赤い波線の下にあるが、地盤改良後はそれ以上でしかも液状化しないと判定される範囲 III または IV にあり、地盤改良の効果が確認できる。

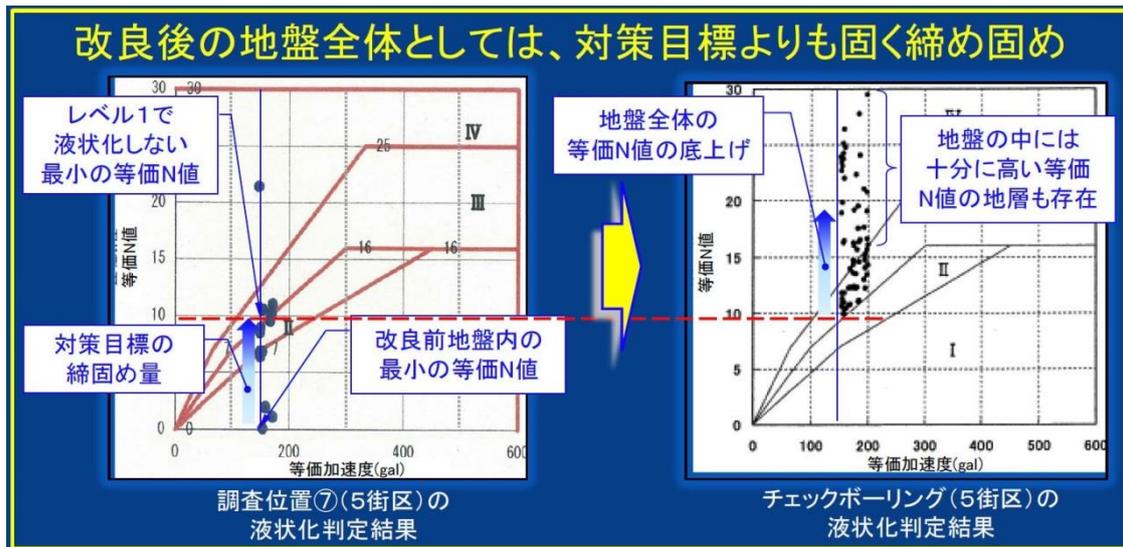


図5. 4 港湾の施設の技術上の基準・同解説にしたがって検討した建物建設地外の地盤改良前後における中地震（レベル1相当）に対する液状化判定結果

表5. 3は、液状化判定基準の異なる敷地建設地内外の結果を比較するため、建築基礎構造設計指針に従って検討した建物建設地外の各街区の、改良前後における中地震（レベル1相当）に対する液状化安全率 FL の平均値と最小値（カッコ内）を示している。地盤改良前の安全率は0.85-0.95程度であったが、地盤改良後は、いずれも1.6以上2.0まで改善され、液状化の可能性がないと判断されており、4章の対策目標を満足している。

表 5. 3 建物建設地外の各街区の、改良前後における中地震（レベル1相当）に対する液状化安全率  $F_L$  の平均値と最小値

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

図 5. 5 は、建物建設地外各点について、改良前後における大地震（レベル2相当）に対する液状化の危険度  $PL$  値と推定地表変位  $D_{cy}$  の関係を示している。地盤改良前は、ほぼ全ての地点が  $PL < 5$  かつ  $D_{cy} < 5$  を満足せず、 $PL > 10$  かつ  $D_{cy} > 10$  となっていたが、地盤改良後は、ほぼ全ての地点で  $PL < 5$  かつ  $D_{cy} < 10$  を満足しており、地盤改良設計指針の基準（ $PL < 5$  かつ  $D_{cy} < 5$ ）のいずれかを概ね満足しており、液状化の程度危険度が小の状態に収まっていると判断される。

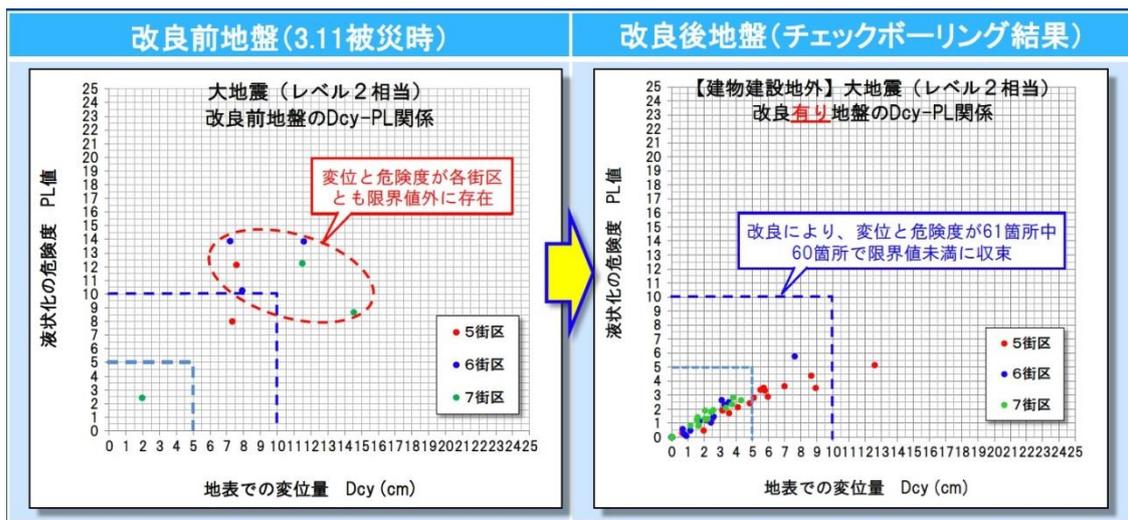


図 5. 5 建物建設地外の改良前後における大地震（レベル2相当）に対する液状化の危険度  $PL$  値と推定地表変位  $D_{cy}$  の関係

改良地盤の液状化の危険度をさらに確認するため、液状化の観点からはレベル2相当に近いと考えられる地震動継続時間の極めて長かった東北地方太平洋沖地震の当該地点付近（江東区枝川）の地震動（地表最大加速度 240gal）に対して、改良前後における液状化の危険度 PL 値と推定地表変位 Dcy の関係を求めた。結果を図 5. 6 に示す。

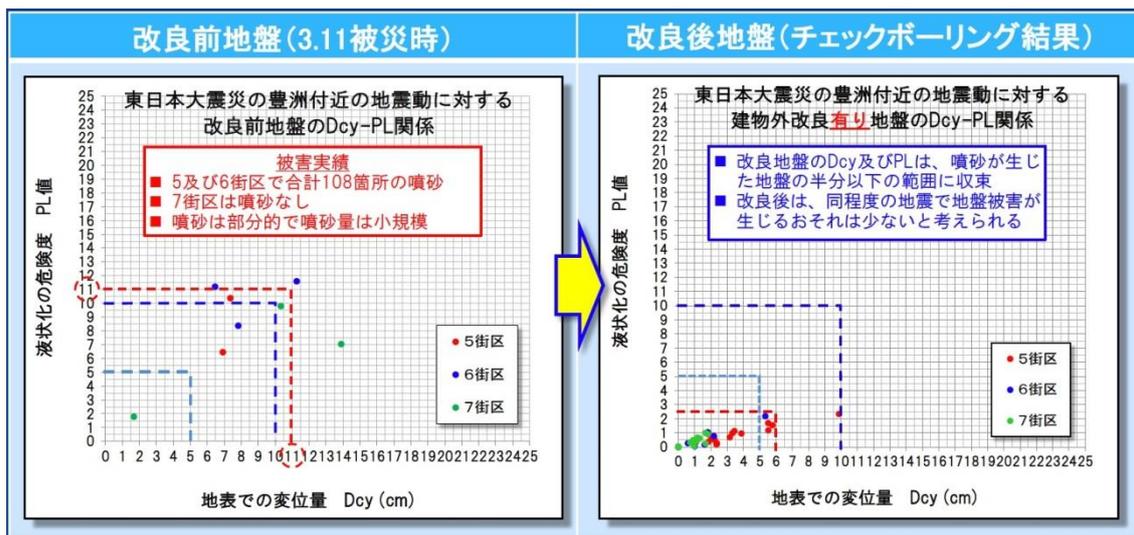


図 5. 6 建物建設地外の改良前後における東北地方太平洋沖地震（240gal, M9.0）に対する液状化の危険度 PL 値と推定地表変位 Dcy の関係

東北地方太平洋沖地震の際、地盤改良は行われておらず、5、6街区では108箇所の噴砂が確認されているがいずれも小規模かつ部分的であったので、液状化の程度は小の範疇と考えられる。そのレベルが  $8 < PL < 15$  かつ  $7 < Dcy < 15$  程度（液状化の程度中）であることがわかる。これが地盤改良により同程度の地震動に対して、5街区では  $PL < 6$  かつ  $Dcy < 10$  に、6、7街区では概ね  $PL < 3$  かつ  $Dcy < 5$ （液状化の程度小）に改善されているので、改良地盤は、東北地方太平洋沖地震時の地震動に対して液状化の危険度が小あるいはそれ以下の状態に収まっていると判断される。

なお、ここでの液状化対策は、市場施設完成後に、地下水水位を A. P. +1.8m に維持することで、液状化しない表層厚さを 4.7m 確保することにより担保されている。また A. P. +6.5m より A. P. +2.5m までの埋め戻し土は、30cm 以下の厚さの層に分けて土を盛り、かつその土を盛るごとに、これをローラーその他これに類する建設機械を用いて締固めて造成されているが、その締まり具合を判断する地盤調査結果は見つけられていない。この地盤の締まり具合によっては地震時の地盤沈下あるいは地下水上昇時の液状化などが問題になる。したがって、地下水位の維持が必須と考えられる。

## 6 築地再開発にともなう地盤工学・土壌汚染に関連する課題

築地再開発にともなって想定される地盤工学・土壌汚染に関する課題を以下に列挙する。

- 1) 豊洲と同様に土壌汚染問題が内包。
- 2) 市場としてふさわしくない掘削土による大気汚染の可能性。
- 3) 表層が埋土であることから液状化対策についての検討が必須。
- 4) 液状化対策を十分に行わない場合、液状化とともに汚染土が地上に噴出する可能性。
- 5) 土壌汚染状況の把握、液状化危険度評価を行った上で、必要な対策を実施するための調査費用と期間。
- 6) 建物工事エリアの下で大規模な汚染が見つかった場合には、掘削除去工法の適用が困難であり有効な土壌汚染対策をとれない可能性。
- 7) 既存基礎の撤去、基礎新設、既存埋設管撤去・埋設管等新設にともなう掘削土の仮置き場所の確保、あるいは処分費用など。
- 8) 既存基礎の撤去、既存埋設管撤去等に関する想定外の工事と工期。  
ローリングによる建物新設のためにはさらに以下の点が挙げられる。
- 9) 埋設配管、道路等の切り回しによる工期・費用の増加。

## 7 まとめ

豊洲新市場予定地の液状化対策と液状化危険度並びに築地市場再開発に伴う地盤工学的課題に関する主な調査結果を以下に示す。

- 1) 豊洲市場建物建設地内の地盤では、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ており、大地震（レベル2相当）においても液状化の危険度がなしから軽微の状態に収まっていると判断される。
- 2) 豊洲市場建物建設地外の地盤では、中地震（レベル1地震動）に対して液状化しないよう十分な締固め対策がなされたことで、大地震（レベル2相当）においても液状化の危険度が小の状態に収まっていると判断される。
- 3) 以上の液状化判定は、市場施設完成後に、地下水位を A. P. +1.8m に維持することで、液状化しない表層を 4.7m 確保することにより担保されている。また A. P. +6.5m より A. P. +2.5m までの埋め戻し土の締め具合によっては、地震時の地盤沈下、地下水上昇時の液状化などが問題になる可能性がある。したがって、地下水位を A. P. +1.8m 以深に維持することが必要と考えられる。
- 4) 市場外となる補助 315 号線高架下の地盤の液状化に伴う噴砂・噴水の防止については、可能な限りの液状化対策を講じるとともに、レベル2地震動などにより液状化が生じた場合でも、地表面への噴砂・噴水を地下水位より上に敷き詰めた碎石層で防止するよう対策されている。

ただしこの場合も、地下水面を碎石層の下面以下に維持することが必要である。

5) 築地再開発の場合は、想定される地盤工学・土壌汚染に関連する課題について十分配慮する必要がある。

#### 参考文献

第7回市場問題プロジェクトチーム配布資料（資料2）豊洲市場における液状化対策、中央卸売市場提出、2017.

建築基礎構造設計指針、日本建築学会、2001.

建築物の構造関係技術基準解説書、建築行政情報センター、2015.

建築基礎のための地盤改良設計指針案、日本建築学会、2006.

港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、2007, 2012.

埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）、沿岸開発技術研究センター、1997.

道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、日本道路協会、2002.