臨海部埋立地における適用可能な液状化対策技術の検討（その２）

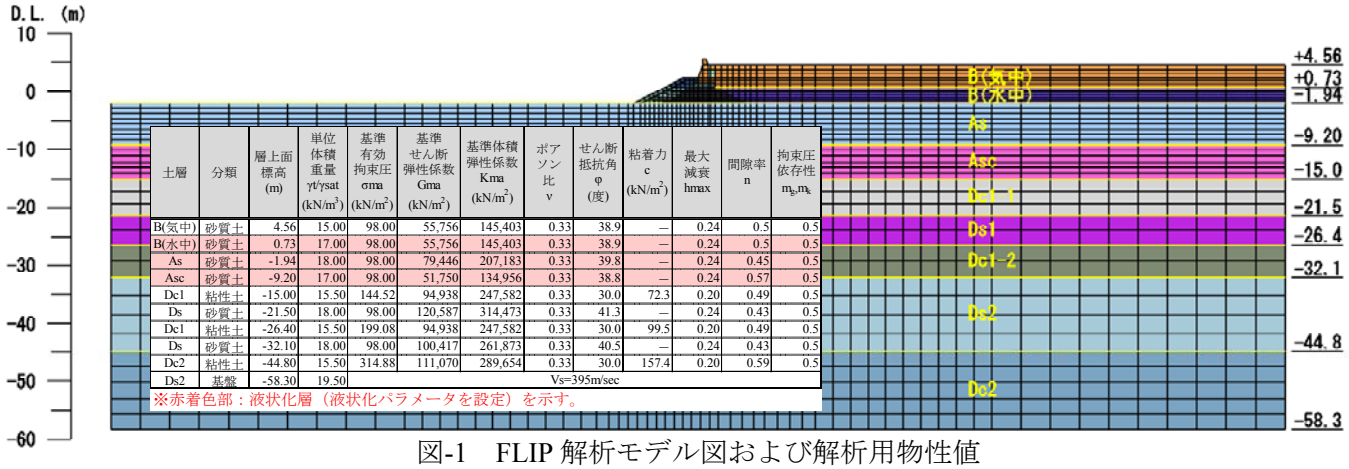
八千代エンジニヤリング株式会社　正会員　○国生隼人、吉野博之、小山萌弥
港湾空港技術研究所　正会員　小濱英司、菅野高弘、寺田竜士

１．はじめに

臨海部埋立地における適用可能な液状化対策技術の検討（その１）では，対策コストの削減等をめざし，様々な対策強度（薬液濃度）における改良体の室内土質試験を行い，液状化特性に与える影響を確認した．本稿では，上記の結果に基づき，石油コンビナート施設の外周護岸を対象として，FLIP を用いて対策強度や対策範囲および地震動を変化させた場合の施設変形量についてパラメトリックスタディを行った結果を報告する．

２．薬液濃度及び液状化対策範囲が液状化対策効果に与える影響のパラメトリックスタディ結果

検討対象施設の FLIP 解析モデル，各層の解析用物性値を図-1 に示す．液状化層は地下水位以下の液状化層(B(水中層))と As 層，Asc 層である．このうち，As 層は，大規模実証実験で使用する宇部硅砂 6 号（相対密度 Dr=50%）で置き換えた土層とし，図-2 に示す対策範囲①～⑥は，改良体の物性値（表-1 参照.）に置き換えて実施した．なお，改良範囲②⑤⑥については，Asc 層も改良しているが，その場合の改良範囲の物性値は簡単のため As 層を改良した範囲と同じ物性値とした．なお，使用した地震動は後述する地震動 A とした．



土層	分類	層上面標高 (m)	単位体積重量 γt/γsat (kN/m³)	基準有効拘束圧 σma (kN/m²)	基準せん断弾性係数 Gma (kN/m²)	基準体積弾性係数 Kma (kN/m²)	ポアソン比 ν	せん断抵抗角 φ (度)	粘着力 c (kN/m²)	最大減衰 hmax	間隙率 n	拘束圧依存性 m_G,m_K
B(気中)	砂質土	4.56	15.00	98.00	55,756	145,403	0.33	38.9	–	0.24	0.5	0.5
B(水中)	砂質土	0.73	17.00	98.00	55,756	145,403	0.33	38.9	–	0.24	0.5	0.5
As	砂質土	-1.94	18.00	98.00	79,446	207,183	0.33	39.8	–	0.24	0.45	0.5
Asc	砂質土	-9.20	17.00	98.00	51,750	134,956	0.33	38.8	–	0.24	0.57	0.5
Dc1	粘性土	-15.00	15.50	144.52	94,938	247,582	0.33	30.0	72.3	0.20	0.49	0.5
Ds	砂質土	-21.50	18.00	98.00	120,587	314,473	0.33	41.3	–	0.24	0.43	0.5
Dc1	粘性土	-26.40	15.50	199.08	94,938	247,582	0.33	30.0	99.5	0.20	0.49	0.5
Ds	砂質土	-32.10	18.00	98.00	100,417	261,873	0.33	40.5	–	0.24	0.43	0.5
Dc2	粘性土	-44.80	15.50	314.88	111,070	289,654	0.33	30.0	157.4	0.20	0.59	0.5
Ds2	基盤	-58.30	19.50	Vs=395m/sec								

※赤着色部：液状化層（液状化パラメータを設定）を示す。

図-1　FLIP 解析モデル図および解析用物性値

No.	改良範囲 幅(m)	高さ(m)	体積(m3/m)
①	7.20	7.26	52.27
②	7.20	13.06	94.03
③	11.00	7.26	79.86
④	21.00	7.26	152.46
⑤	19.20	13.06	250.75
⑥	19.20	13.06	250.75

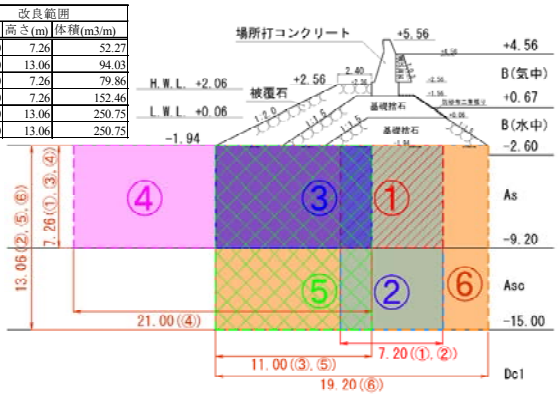


図-2　地盤改良範囲

表-1　各ケースの改良地盤の液状化パラメータ

区分	検討ケース Case. No.	工法※	薬液濃度(%)	一軸圧縮強度qu (kN/m²)	液状化強度 $R_{L20/5\%}$	液状化パラメータ φp	s1	w1	p1	p2	c1
未改良	Case-0	=As層	–	–	0.253	28	0.005	5.850	0.5	0.870	2.270
改良地盤	Case-1	浸透	2.0	36	0.243	28	0.005	3.800	0.5	0.500	2.300
	Case-2	ﾊﾞﾙｰﾝ	3.0	53	0.285	28	0.005	9.000	0.5	0.600	2.800
	Case-3	浸透	3.0	67	0.347	28	0.005	5.900	0.5	0.400	3.014
	Case-4	ﾊﾞﾙｰﾝ	4.0	102	0.382	28	0.005	7.000	0.5	0.400	7.000
	Case-5	浸透	4.0	82	0.460	28	0.005	8.000	0.5	0.400	6.195
	Case-6	ﾊﾞﾙｰﾝ	5.0	154	0.503	28	0.005	9.300	0.5	0.400	6.850
	Case-7	ﾊﾞﾙｰﾝ	6.0	207	0.692	28	0.005	9.500	0.5	0.400	10.50
	Case-8	–	–	–	–	液状化パラメータオフ（すべてゼロ）					
(参考) 原地盤	B(水中)：改良なし					28	0.005	5.939	0.5	0.964	2.440
	Asc:改良なし					28	0.005	6.967	0.5	0.943	2.499

※「浸透」は浸透固化処理工法，「バルーン」はバルーングラウト工法による改良体である。

地盤改良範囲を①～⑥に変化させた場合について，改良地盤の強度を変化させた場合の護岸天端の残留鉛直・水平変位，および護岸傾斜角の変化を図-3 に示す(同図中の朱色のラインは地盤改良を行わない場合の各変形量である)．護岸の直下のみを狭い範囲で改良したケース(改良範囲①，②)では，改良地盤の液状化強度が増加するにつれ，鉛直変位は小さくなるものの，水平変位が増加してしまう．少なくともこのように挙動が不

キーワード　液状化対策，埋立地，薬液注入工法，液状化強度，FLIP
連絡先　〒810-0062　福岡県福岡市中央区荒戸 2-1-5　八千代エンジニヤリング株式会社　九州支店　TEL: 092-751-1178

安定となる改良範囲は採用すべきではないと考えられる．最も改良範囲を広くとった改良範囲⑥では，強度の増加に伴って鉛直変位，水平変位ともに小さくなり，護岸傾斜角もほぼ一定値で安定し，かつ，重力式構造の傾斜量の限界値 8° 以下 [1]である．したがって，当該施設の液状化対策範囲としては範囲⑥程度は広くとることが望ましいと考える．また，一般に薬液注入工法の改良強度は対象とする地震に対し液状化しない強度として設定することから，FLIP 解析においては，液状化パラメータを設定しない場合も多い．ただし今回の結果では，その強度に応じた液状化パラメータを設定した方が，設定しない場合(Case-8)より変形量が小さくなっている．したがって，改良地盤に液状化パラメータを設定した方が，より合理的な断面とできる可能性がある．

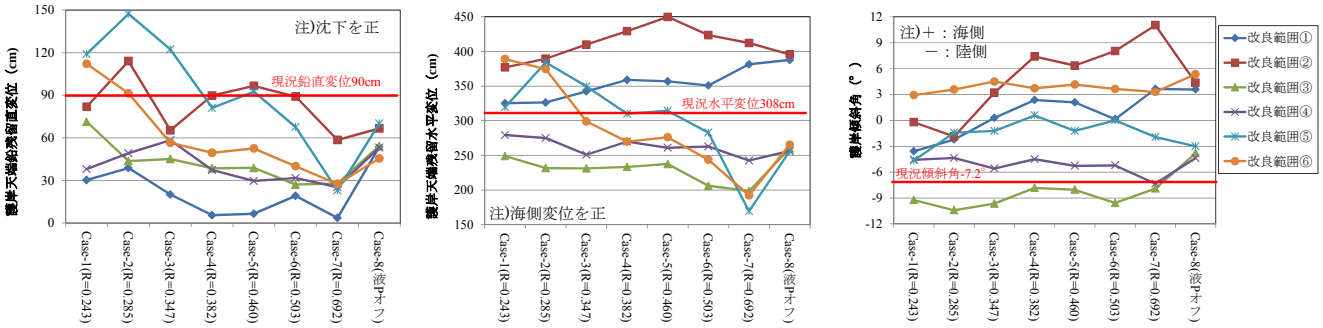
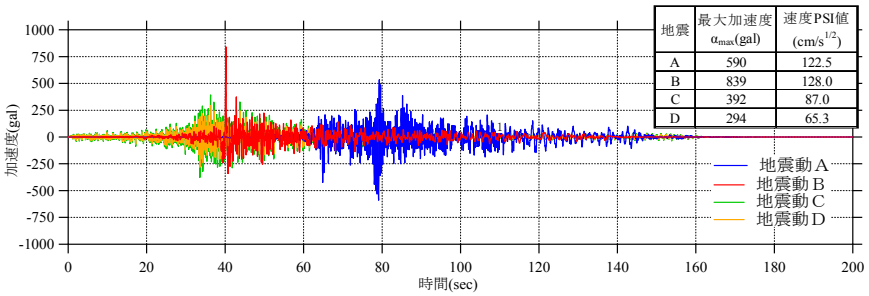


図-3　各改良範囲における FLIP 解析結果(左：残留鉛直変位，中央：残留水平変位，右：残留傾斜角)

５．地震動の影響の感度分析

改良範囲⑥の条件で，図-4 に示す 4 種類の地震動を用いて，地震動の違いが変形量に与える影響の感度分析を行った結果を図-5 に示す．鉛直変位は地震動 A→C→B→D の順に小さくなる一方，水平変位は A→B→C→D となり，単純に最大加速度や速度 PSI 値の順ではないことが分かる．また，どの地震動でも，液状化強度がある値(概ね 0.5 程度)以上となると，変形量の変化が少なくなることがわかる．図-6 には，護岸から 20m 離れた地点の地表面鉛直変位を示す．同様に，液状化強度が大きくなると変形量の変化は少なくなることがわかる．



地震	最大加速度 α_{max}(gal)	速度PSI値 (cm/s$^{1/2}$)
A	590	122.5
B	839	128.0
C	392	87.0
D	294	65.3

図-4　入力地震動加速度波形

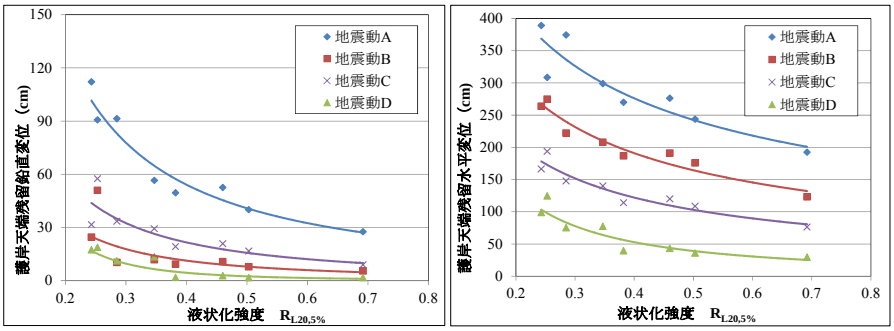


図-5　地震動による変形量の違いの感度分析結果

６．まとめと今後の課題

薬液注入工法について，標準的な濃度より低濃度の薬液を使用した場合でも，机上検討においては，一定の変形量の抑制効果は得られることが分かった．また FLIP 解析では，改良強度に応じた液状化パラメータを設定することで，より合理的な設計ができる可能性があることが分かった．ただし，改良範囲や改良体強度によってその効果は大きく変化することから，多くのケースの検討を行い，最適な範囲・強度の組み合わせを求めることが対策コスト削減において重要であると考えられる．薬液濃度の低減が，場所による強度のばらつきや改良体の出来形など品質面で問題がないかは今後の課題である．

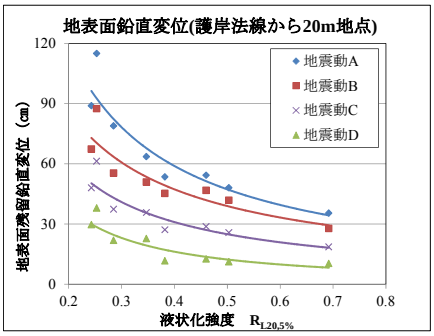


図-6　護岸背後地表面の沈下量

参考文献　1)井合ら：港湾構造物の耐震性能照査体型について，港湾空港技術研究所 No.1018，2002 年 6 月