

発破による大規模人工液状化実験（その１）

佐藤工業（株）
関東学院大学
（独）港湾技術研究所

正会員
正会員
正会員

○永尾 浩一
規矩 大義
菅野 高弘

前田 幸男
小濱 英司

１．はじめに

筆者らは、発破による衝撃荷重によって人工的に地盤を液状化させ、液状化後の再堆積により地盤を締固める工法¹⁾の開発を行ってきた。本工法が人工的に地震力と液状化を制御、発生させることができることから、地震時の地盤および構造物の挙動観測を目的とした大規模原位置人工液状化実験が計画され発破工事を実施した。実験は産官学共同研究として日米の14研究機関が参加し、供用前の十勝港（北海道広尾町）第4埠頭埋立地において、公開実験として行われた²⁾。

２．実験概要

実験は埠頭内に岸壁を含めた幅100m×長さ100mの試験ヤードを造成した。試験ヤードは盛土を伴う矢板岸壁側と地盤改良等の液状化対策が施された耐震岸壁側からなり、そこに浸透固化処理改良、杭基礎、埋設管、深層混合処理改良体、遮水シート、マンホール等の実大構造物が施工された（図-1）。実験サイトは層厚6～7mの埋土地盤であり、スウェーデンサウンディング試験とボーリング調査の結果、図-2に示すように上部に礫混じりのシルト質細砂層、その下に細砂を含んだ粘土質シルト層、細砂質シルト層、粘土質シルト層の層序となっており、いずれの層も換算N値10以下の緩く堆積した液状化の可能性の高い地盤である。

人工液状化を発生させる発破はエマルジョン系含水爆薬を用い、総装薬量840kgで4,800m²の領域に127孔、257箇所装填した。領域内の発破孔は6m間隔の正方形配置とし、上下2段装薬とした。また、試験領域発破終了後、液状化した領域に振動を与えることと、過剰間隙水圧の試験領域外部への消散を防ぐため、領域外周発破を行った。発破順序は耐震領域、流動領域ともに内陸側から護岸方向に向かって発破を行ない、さらに、地中発破完了後、岸壁の流動変位を促進する目的で、矢板岸壁のタイロッド連結プレート成型爆薬にて切断した（表-1）。発破は導火管付雷管（ノネル雷管）により起爆し、秒時差を下上段間隔0.2sec、発破孔間隔0.5secとして、継続時間は63秒間の段発破を行った。発破による地盤変状に関連する計測項目は、地盤の間隙水圧、地表面加速度、地盤変形量を行った。

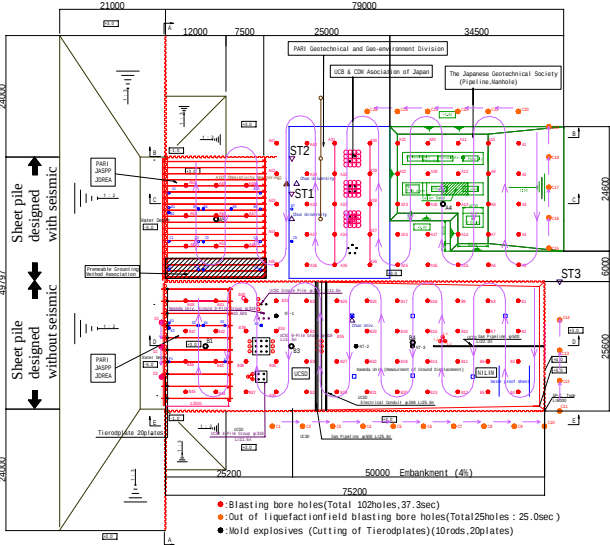


図-1 実験サイトの平面図

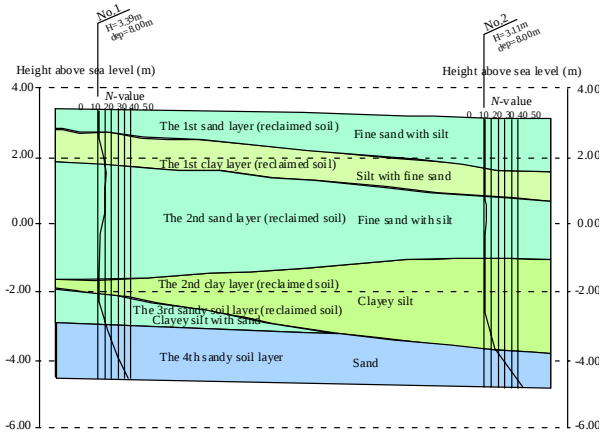


図-2 実験サイトの地層構成図

表-1 装薬条件

Blasting point	Blasting hole	Number of steps	Bottom side		Top side	
			Amount (kg)	Depth (m)	Amount (kg)	Depth (m)
Seismic side	54	2	4	7.5	3	3.5
Flowing side	48	2	4	7.5	3	3.5
Out of test area	25	2	4	8	3	4.5
Bottom of Sheet piles	3	1	4	8.5	-	-
Tie-rod plate	10	2	130g	-	-	-

キーワード：発破，液状化，過剰間隙水圧，実物大実験
連絡先：〒243-0211 神奈川県厚木市三田47-3 TEL：046-241-2171 FAX：046-241-2176

3．実験結果

写真-1 には、原位置人工液状化実験の発破中の状況を示す。また、図-3 には、発破実験中の代表的地点における加速度記録を示す。発破によって得られた最大加速度は領域内発破時に約 3.7G、外周発破時には約 16.2G であった。この値は、通常地震時に生じる加速度に比べると明らかに大きい。これは爆薬の衝撃力によるものであり、地盤全体がこの加速度で振動したものではない。図-4 には、代表的地点、代表的深度における発生間隙水圧（過剰間隙水圧）の計測結果を示す。発破領域内の過剰間隙水圧は発破毎に急激に上昇し、計測位置に隣接した発破孔で発破が行われたときに水圧はピークに達した。また、上昇した水圧は外周発破を加えたことによって、さらに上昇した。初期の有効上載圧から計算した過剰間隙水圧比は、爆圧（衝撃圧）を受けるピーク時は当然ながら、残留値においても 1.0 を超えており、領域内地盤で液状化が発生していたことが確認された（表-2）。また、外周発破の影響もあって、過剰間隙水圧の消散の傾向は非常に緩やかで、液状化の継続時間も十分にあったものと考えられる。図-5 には地盤の変形計測結果を示す。発破前後で、水平方向の最大変位は耐震側岸壁で 47cm、流動側岸壁で 114cm に達している。最大沈下量は耐震側タイロッド控え杭後方で 32cm、流動側盛土のり肩付近で 80cm となった。対象層の層厚を約 6m とすると、30cm の沈下量は体積ひずみにして約 5% 相当となり、これは室内試験で完全液状化状態を再現し、その後に排水試験を行って求めた液状化に伴う体積ひずみの上界値に概ね一致する。体積ひずみが生じ、1 次元的に沈下した地盤は、その沈下量に応じて密実化する。地盤の密実化は同時に液状化抵抗の増大を意味しており、発破による人工液状化は簡易な液状化対策として有効であることが伺える。

4．おわりに

今後は、発破後の地盤強度の回復を継続して調査することに加え、液状化対策としての本工法の設計法を確立するため、発破エネルギーと発生する過剰間隙水圧や残留間隙水圧の関係を、模型実験で明らかにしていくほか、細粒分の多いシルト地盤などの原位置実験も予定している。

参考文献

- 1) 辻野，前田，中嶋：発破締固め工法の液状化対策への適用性に関する現場実験，電力土木，No.287，pp.108~112，2000
- 2) E.Kohama，T.Sugano ほか：Dynamic Behavior of A Steel Sheet Pile Quay Wall in the Full-Scale Experiment at Tokachi Port，地盤工学会，港湾・臨海部都市機能の耐震性向上に関するシンポジウム，pp.123-133，2003.12



写真-1 人工液状化実験における発破状況

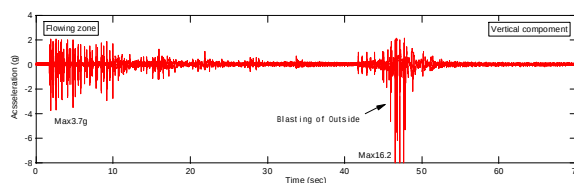


図-3 領域内における加速度記録

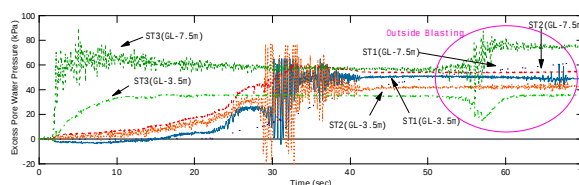


図-4 領域内における間隙水圧の経時変化

表-2 過剰間隙水圧比

Measurement Point	W.L. (m)	Excess PWP (kPa)			Excess PWP Ratio		
		160sec	200sec	1400sec	160sec	200sec	1400sec
ST1(GL-3.5m)	0.5	50.6	49.6	39.1	1.56	1.53	1.21
ST1(GL-7.5m)	0.5	44.5	66.5	48.9	0.70	1.04	0.77
ST2(GL-3.5m)	0.5	41.6	42.8	34.4	1.28	1.32	1.06
ST2(GL-7.5m)	0.5	54.4	54.1	46.4	0.85	0.85	0.73
ST3(GL-3.5m)	0.5	35.1	35.6	23.5	1.09	1.10	0.73
ST3(GL-7.5m)	0.5	57.1	75.0	56.7	0.90	1.18	0.89

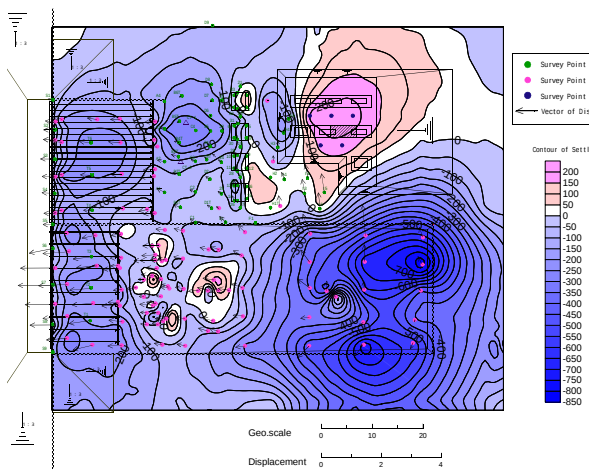


図-5 地盤変状量の計測結果（実験前後）