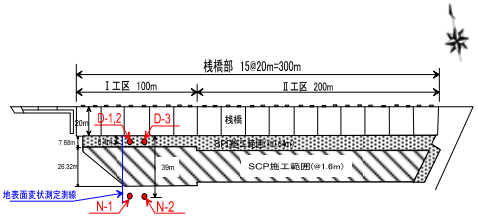
東日本大震災を経験した液状化対策地盤の PDC による地盤調査

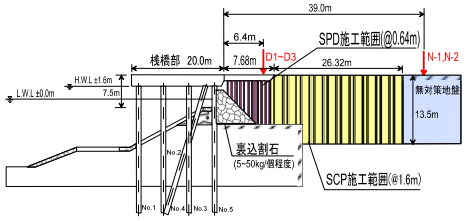
日本大学工学部　学生会員　○佐野峯　麻聖　　正会員　仙頭　紀明

はじめに　東日本大震災において，埋立地等の緩い砂地盤で液状化による被害が多数発生した．しかし，間隙水圧消散工法を施工していた地盤はドレーンが効果を発揮し，大きな被害を免れている [1)]．本研究では，既往の事例の一つである仙台塩釜港向洋埠頭を調査対象とした．向洋埠頭は 1995 年に液状化対策として間隙水圧消散工法と締固め工法が施工されていた．また，同地点は震源地に近く，本震時には設計の想定を超える大きな地震動が観測されたが，桟橋部より背後地盤が約 15cm 沈下する程度の軽微な被害であった [1)]．そこで，仙台塩釜港向洋埠頭の液状化対策地盤と無対策地盤を対象として，大地震を経験した地盤の液状化強度を評価するためにピエゾドライブコーンによる地盤調査を行った．また，背後地盤の地表面の変状を把握するために，舗装面高さを測量し，強震時の地盤変状について考察した．

図−1 向洋埠頭位置図(電子国土に加筆)



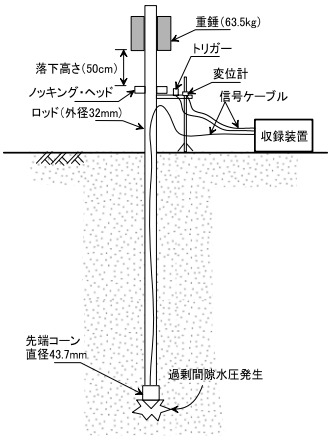
図−2　向洋埠頭岸壁施工平面図



図−3　向洋埠頭岸壁Ⅰ工区施工断面

調査地点　向洋埠頭は図-1 に示すように，仙台塩釜港の南東部に位置している．調査地点の平面図，断面図をそれぞれ図-2，図-3 に示す．桟橋は計画水深-12m の杭基礎構造となっている．背後地盤は桟橋端部から7.68mの区間に間隙水圧消散工法としてスパイラルドレーンが 0.64m ピッチで打設されている．その背後には 1.6m ピッチでサンドコンパクションパイルが施工されている．さらにその背後は無対策区間となっている．

調査方法　ピエゾドライブコーン(以下 PDC)とは，従来の動的貫入試験機の先端コーン部に間隙水圧計を組み込むことにより，貫入時の N_d 値と間隙水圧を測定する地盤調査である．間隙水圧より細粒分含有率を推定することで F_L 法により液状化判定を簡易かつ安価に行うことができる [2)]．また，特徴として，先端コーンを連続して貫入することで，標準貫入試験と比較し，測定点がより多く，高分解能で N 値を測定できる．そのため，埋立地や沖積低地の軟弱な互層地盤の堆積構造を把握することが可能であり，不均質な地盤の堆積構造の調査に有効である．試験装置の概要を図-4 に示す．先端コーン直径 43.7mm，ロッド直径 32mm，重錘重量 63.5kg，落下高さは 50cm である [3)]．また，地表面沈下量の調査は，桟橋端部を基準とし，舗装面を 2m ピッチで 40m 間を計測した．なお，この区間には SPD 区間，SCP 区間，無対策区間が含まれている．



図−4　試験装置の概要

調査結果　無対策地盤の N_d 値，F_c，F_L 値を図-5 に示す．F_L 値は建築基礎構造設計指針 [4)]を用いて，中地震の地表面最大加速度を 200Gal，大地震を 350Gal として求めた．土層構成は GL.-1m までが盛土(砂質土)(Bs)，約 GL.-8m までが埋立土(砂質土)(Fs)，GL.-8m 以下は旧海底の堆積土 (砂質土)(As)となっている．地下水位は約 GL.-2m である．埋立土については N_d 値が 5 以下の測定点が多く，緩い状態であると言える．F_c は GL.-6m 以下は約 10%と低い

キーワード:ピエゾドライブコーン(PDC)，細粒分含有率，液状化強度
連絡先 (963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地・TEL:024-956-8710・FAX:024-956-8858)

が，その上部はばらつきが大きい．これは，施工時の浚渫土砂の種類や投入方法の違いによる堆積状況を反映していると考えられる．また，旧海底の堆積土は比較的締まった地盤となっている．液状化強度を見ると，埋立土のほとんどが中地震の場合でも F_L 値が 1 より小さいため，液状化が発生する可能性が高い．これは，2011 年の地震で液状化が発生したものと考えられる．そして，再液状化の可能性も高いと言える．次に，対策地盤の N_d 値，F_c，F_L 値を図-6 に示す．土層構成は約 GL.-2m までが盛土(砂質土)(Bg)，約 GL.-5m までが埋立土(粘性土)(Fc)，GL.-5m 以下は埋立土（砂質土)(Fs)となっている．地下水位は約 GL.-1.8m である．埋立土(Fs)の N_d 値は，無対策地盤の N_d 値と比較して，約 2 倍となった．また，F_L 値は中地震の場合においても 1 を超えているため，液状化の可能性は低い．また，埋立土の細粒分含有率が高く，ばらつきが大きい．当時の施工記録がないため，推測にはなるが，一般的に，護岸の背後の埋立は余水吐きの方向に行う [5]．本地点では，埋立に F_c が平均 8%程度の浚渫土が使われている [6]が，埋立時に分級が起こりかつ調査地点の近くに余水吐きがあったと考えると，細粒分を多く含んだ土が余水吐き付近に堆積し，F_c が高くなったと考えられる．

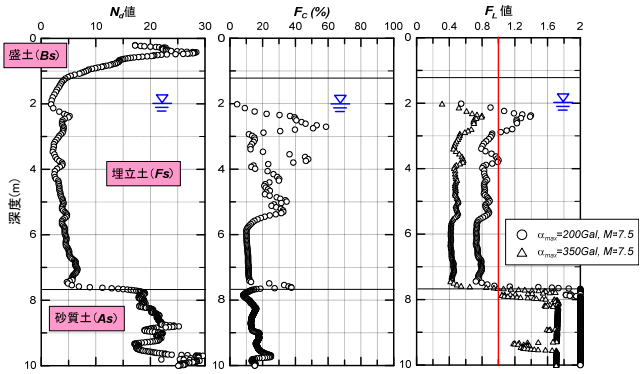


図-5 無対策地盤(N-2)の N_d 値、F_c、F_L 値

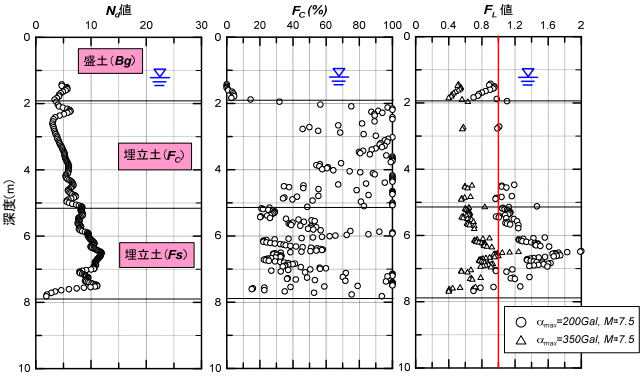


図-6 対策地盤(D-3)の N_d 値、F_c、F_L 値

測量より得られた舗装面の沈下量は桟橋端部の高さを基準にしたもので，実際の沈下量ではない．よって，地震前の地盤高を考慮し沈下量を評価した．図-7 は入手した地震前の地盤高に関する資料を基に 2 パターン仮定したものである．補正後の地表面沈下量を図-8 に示す．パターン 1，2 ともに同様の傾向が見られ，桟橋端部と背後地盤の境界付近で大きく沈下し，20～25m 付近で約 10cm 程度沈下している．ここで，沈下の原因として考えられるのは，過剰間隙水の消散に伴う沈下，地震時に野積みされていた石炭の積載荷重の影響，桟橋のはらみ出しに伴う即時沈下等が考えられる．

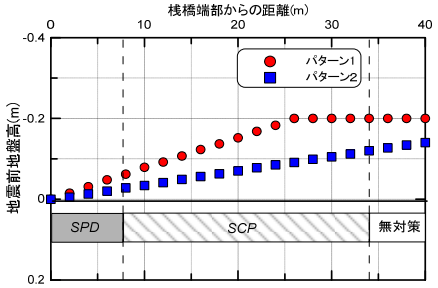


図-7 地震前の地表面(高さ)

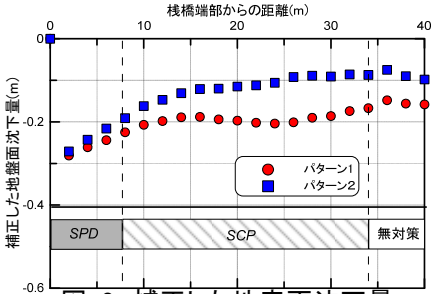


図-8 補正した地表面沈下量

まとめ 東日本大震災を経験した液状化対策地盤及び無対策地盤において PDC 調査を実施し，深度方向に高分解能な N_d 値，細粒分含有率 F_c の分布を得た．対策地盤においては比較的高い F_c と N_d 値が得られた．今後は不均質な F_c と N_d 値の分布の規則性や関係性について検討を行う必要がある．また，背後地盤の地表面の沈下が生じた原因を明らかにするために変形解析を行う必要がある．

参考文献 1)DEPP 工法研究会(2011)：DEPP 工法技術資料,pp.12. 2)澤田俊一：ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング)-性能設計に向けた原位置試験-,応用地質技術年報,No.30,pp.75-80. 3)応用地質(2013)：仙台塩釜港 PDC 調査報告書,pp.4-5. 4)日本建築学会(2001):建築基礎構造設計指針,pp.61-65. 5)日本港湾協会(1959)：港湾工事設計要覧,pp.362-365. 6)運輸省第二港湾建設局他(1995)：塩釜港仙台港区岸壁(-12m)(1)液状化対策工法検討調査報告書,pp.18-20.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25420510 の助成を受けたものです.国土交通省東北地方整備局 似内敏行氏，川守田正路氏，下澤治氏，佐瀬浩市氏，塩竈港運送 阿部裕一氏，応用地質 吉澤大造氏，澤田俊一氏，東亜建設工業 大野康年氏，五洋建設 林健太郎氏には調査実施にご協力いただきました．記して謝意を示します．