

海外における地盤改良の性能照査事例

株式会社不動テトラ 正会員 野津 光夫
株式会社不動テトラ 正会員 ○関 友亮

海外における地盤改良設計の性能照査事例として、以下の3件を紹介したい。いずれの事例も、日本の通常の方式とはまったく考え方を異にするもので極めて興味深いものである。

(1) 韓国での事例

韓国釜山新港湾地区で、沖合の海底に図-1に示すように石積み盛土が計画された。しかし、軟弱粘土地盤のため無処理ではすべり破壊や沈下が懸念され、対策として盛土直下全面に海上サンドコンパクションパイル（以下SCP）工法が計画された。

SCPの設計では通常地盤を砂杭と粘性土の複合地盤として評価し、沈下量を求める際には以下の式を用いる。

$$S=S_0*\beta \quad \dots (1)$$

$$\beta=1-as$$

ここに、S：改良後の沈下量、S₀：無改良での沈下量、β：沈下低減係数、as：改良率である。このように日本ではこれまでの多くの実績をベースにして、改良率から沈下低減量を算定する方法が用いられている。これに対し、本プロジェクトの設計において欧州の設計会社は、砂杭の剛性と粘性土の剛性を別々に評価し、FEM計算(PLAXISによる)を用いて全体の安定・沈下を検討した(図-1,2参照)。

このように、日本では常識として考えられている設計法が、海外ではまったく考慮されず、異なった見方で設計が行われることはままあることであり、日本の設計スタンダードは必ずしも世界のスタンダードにならないことを認識した事例であった。国際基準としてSCPの設計が認知されれば、このようなことにはならないと思われる。

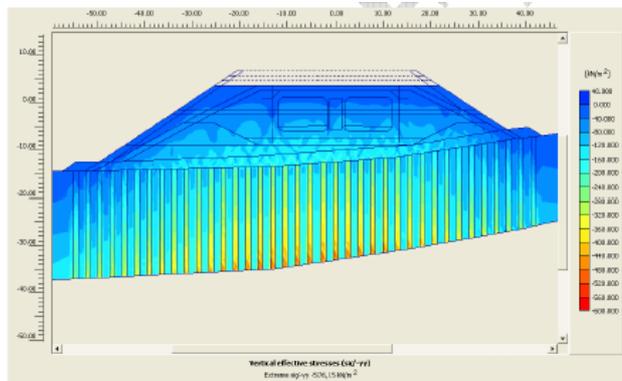


図-1 海底の盛土とFEMによる鉛直有効応力分布
(砂杭が要素として表現されている)

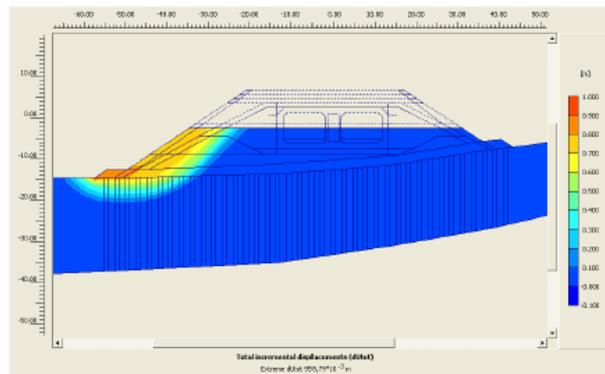


図-2 安定計算(図-1の変形計算結果を元に解析されている)

(2) 米国での事例

北米大陸の西海岸は、1989年のロマプリータ地震(マグニチュードM=7.1、死者62人)や、1994年のノースリッジ地震(M=6.8、死者60人)で代表されるように地震の多い地域であり、それに伴い液状化による地盤災害も報告されている。

ここでは、米国西海岸での締固めによる液状化対策(ストーンコラムやSCP)の設計に着目し、その設計照査方法について述べる。

米国での液状化対策プロジェクトにおける一般的な発注～竣工までの流れは、以下の通りである。

- ① 設計・施工一貫発注の公示：改良目標値が許容沈下量や目標強度(N値、コーン指数)で規定されるのが一般的
- ② エンジニア(設計コンサルタント)による応札業者の審査(オプション)
- ③ 各応札業者が設計し、応札。
- ④ 応札時の設計内容をエンジニアが照査。
- ⑤ 設計の要求品質を満足し、かつ低価格で応札した会社が受注。
- ⑥ 施工およびCPT(コーン貫入試験)やSPT(標準貫入試験)によるチェックボーリング。米国では、CPTによる土質判定、設計の信頼性が高い為、殆どの場合、CPTが実施される。
- ⑦ 目標値を満足しない箇所は、増し打ち(砂杭間にさらに追加の砂杭を施工)が認められている。ただし、費用は施工業者負担。

上記のように、米国では設計・施工一貫発注が一般的であり、性能保証は増し打ちによって担保され

キーワード 海外, 地盤改良, 設計, 性能照査

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号 (株)不動テトラ TEL03-5644-8535

ていると考えられる。したがってこの場合、設計照査はある程度簡略化されうると考えられる。

また日本のように構造物ごとに適用される個別指針がないため、工事ごとに要求性能・品質が異なる。それに対応して、各業者が改良仕様をそれぞれ提案し応札する。したがって、技術者の能力（設計力、エンジニアへの交渉能力、語学力など）が、受注の成否に寄与するところが非常に大きい。

表-1 液状化対策設計法における日米の相違

項目	米国	日本		
発注形態	設計・施工一貫方式がメイン 1) 改良目標が、沈下量や目標強度で規定	設計・施工分離方式がメイン 1) 改良仕様は、コンサルが設計		
評価尺度	コーン指数がメイン 1) N値には様々な補正が存在(下図) 2) $(N_1)_{60}$ (エネルギー効率60%)を使用。	N値がメイン 1) 通常は、土被り補正のみ。 2) $(N_1)_{78}$ (エネルギー効率78%)使用。		
	$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$			
	Factor (1)	Equipment variable (2)	Term (3)	Correction (4)
	Overburden pressure	-	C_N	$(Pa/\sigma'_{v0})^{0.5}$
Overburden pressure	-	C_N	$C_N \leq 1.7$	
Energy ratio	Donut hammer	C_E	0.5-1.0	
Energy ratio	Safety hammer	C_E	0.7-1.2	
Energy ratio	Automatic-trip Donut-type hummer	C_E	0.8-1.3	
Borehole diameter	65-115 mm	C_B	1.0	
Borehole diameter	150 mm	C_B	1.05	
Borehole diameter	200 mm	C_B	1.15	
Rod length	<3 mm	C_R	0.75	
Rod length	3-4 mm	C_R	0.8	
Rod length	4-6 mm	C_R	0.85	
Rod length	6-10 mm	C_R	0.95	
Rod length	10-30 mm	C_R	1.0	
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0	
Sampling method	Sampler without liners	C_S	1.1-1.3	

(3) ベトナムでの事例

ベトナムは、北はホン河、南はメコン河が世界有数のデルタ地帯を形成しており、また同時に有数の軟弱地盤を抱える国である。社会インフラの整備も立ち遅れており、今後軟弱地盤の改良技術導入が必要不可欠とされている。

しかし、このような途上国の特徴として、地盤改良のような新しい工法については、国の設計・施工基準がないと、なかなか採用に至ることが難しいという問題点を抱えている。ODA プロジェクトの中には、個別に設計説明の努力が行われ、深層混合処理工法（日本で1970年代に開発された工法で、地中に重量比10%程度のセメントを混入攪拌させて粘土を固結させる工法）の採用に至った事例もある²⁾。最近では、ユーロコード基準である CEN/TC288-WORKING GROUP 10 DEEP MIXING, Technical Editor: Prof. Sven Hansbo をもとに、ベトナム政府内において深層混合処理工法の設計基準を策定する動きがあり、注目される。

深層混合処理工法については、2006年にベトナム南部カントー空港拡張工事で試験工事が実施された(写真参照)³⁾。このように新工法については、性能を確認するために試験工事が実施されることも多い。(なお、試験工事の結果を図-3に示す。これによると、セメント量120, 150, 200, 240kg/m³に対して、一

軸圧縮強さの発現は比較的良好な結果となっており、ローカルソイルに対する深層混合処理工法の適用性が示された。)

また最近では、多くの大規模プロジェクト（発電所、プラントなど）で、EPCという発注形式が出てきた。これは、Engineering-Procurement-Construction（設計・調達・施工方式）というものであり、施工業者に高い設計能力が求められる。

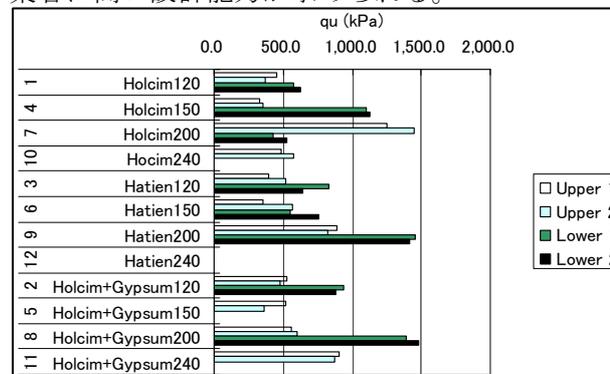


図-3 試験工事の結果³⁾ (セメントの種類、配合量と一軸圧縮強さの関係)、ベトナムメコンデルタ



写真-2 掘り起こされた杭

【参考文献】

1) T. L. Youd, I. M. Idriss ; Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Apr. 2001, Vol.127, No.4, pp.297-313, ASCE.

2) Suzuki, K., Usui, H., and Sasai, T., Kojima, A., Nozu, M., Nguyen, H., T. : Cement Deep Mixing applied to soft clay in Mekong delta, First Sri Lankan Geotechnical Society (SLGS) International Conference on Soil and Rock Engineering, Colombo, August, 2007.

3) Nguyen Bach Tung, Pham Ngoc Hung and Nozu Mitsuo, Soft Soil treated by Wet Mixing Soil Cement Column of Japanese Technology in Mekong River Delta, Bridge and Road, 2006 (in Vietnamese)