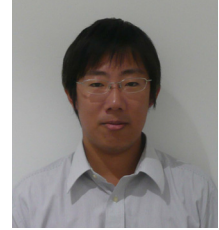


防災対策検討におけるチャート式耐震診断システムの活用について

椋木 貴夫

国土交通省 広島港湾空港技術調査事務所 設計グループ



東海・東南海・南海地震等の巨大地震が発生した場合、中国地方の臨海部石油コンビナート地区では液状化や護岸の倒壊、大規模な油流出等による被害の発生が懸念され、早期の対策検討が必要とされている。しかし耐震検討に必要な高精度の耐震診断を全ての沿岸構造物で行うには、多大な費用と時間を要するため、予め地震に対する危険性が高い沿岸構造物を抽出した上で耐震検討することが効率的であると考えられる。そこで今回、その抽出を「簡単に」「早く」行うことが可能な「チャート式耐震診断システム」の活用を行うとともに、関係機関へ耐震検討のサポートも実施したことにより、防災対策検討への足がかりとした。

キーワード 耐震診断, 沿岸構造物, 土質評価, FLIP

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災では、想定を上回る大規模な地震・津波により、甚大な人的・物的被害に加え、長時間かつ長周期の揺れにより、臨海部の埋立地を中心として広範囲の液状化被害や地盤沈下、コンビナートでは石油・ガスタンクの爆発火災等が発生した。

中国地方は、複数のコンビナートを擁し、国内有数の産業集積地となっているが、東海・東南海・南海地震等の巨大地震が発生した場合、民有護岸を含めた護岸の倒壊・背後地の液状化、大規模な油流出等による被害の発生が懸念され、早期の対策検討が必要とされている。

これらの背景から、防災対策検討における「チャート式耐震診断システム」の活用について紹介する。

2. チャート式耐震診断システムとは

巨大地震が発生した場合の沿岸構造物の挙動（変形量等）を把握するためには、耐震診断のツールとして二次元有効応力解析FLIP（以降、FLIP）が広く使用されているが、沿岸構造物の施設延長は長く、構造形式も様々となることが多く、全ての耐震診断を行う場合、多大な費用と時間が必要となる。

国土交通省で開発した「チャート式耐震診断システム（以降、チャート式）」では地震発生時の沿岸構造物の変形量を簡易的に算定し、地震に対する危険性が高い施設を「簡単に」「早く」抽出することが出来る。チャート式で抽出された危険性の高い施設を優先的にFLIPで耐震診断することにより、効率的な耐震診断が可能となる。



図-1 東日本大震災での東京湾臨海部におけるLNGタンク被災¹⁾

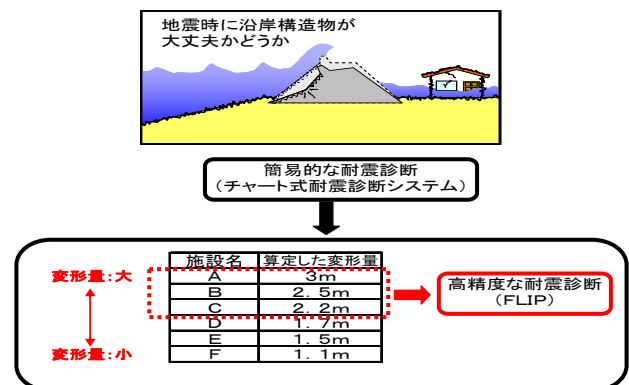


図-2 チャート式耐震診断システム活用イメージ

(1) チャート式の概要

チャート式では、沿岸構造物を様々な条件でシミュレーションした変形量の算定結果をデータベース化し、入力条件をデータベースと照合するだけで、地震発生時の沿岸構造物の変形量を簡易的に算定し、地震に対する危険性の高い施設を抽出することが出来る。

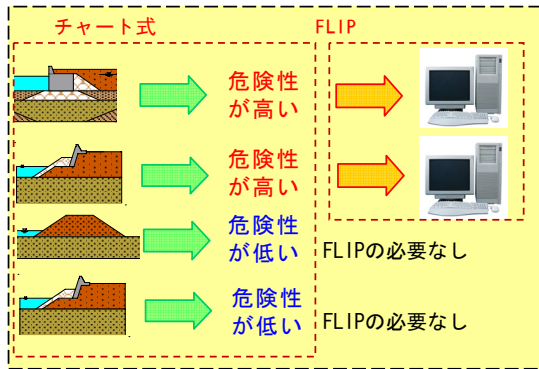


図-3 チャート式による抽出イメージ

チャート式が適用出来る構造形式は「直立型（重力式）」「傾斜型（堤防式）」「傾斜型（護岸式）」「矢板型（自立式・控え直杭・控え組杭）」「栈橋式」の7種類である。

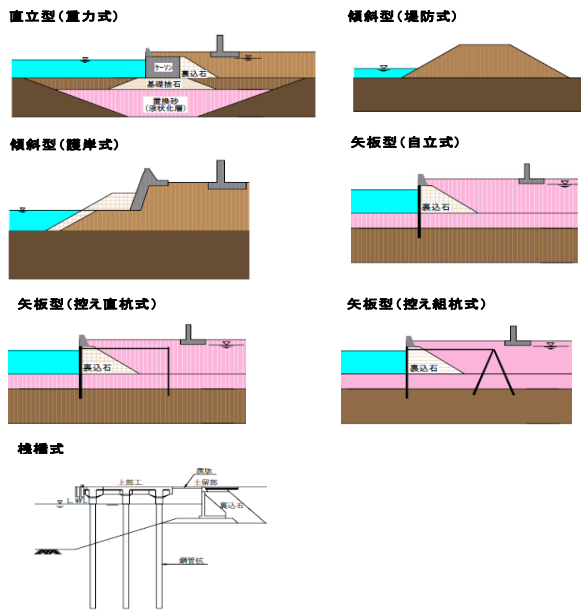


図-4 チャート式が適用できる構造形式

チャート式自体はExcelであり、誰でも簡単に使うことが可能。また、入力項目は図-5に示すとおり基本的な設計条件である。

水平変形量について、チャート式結果とFLIP解析結果を比較したものを図-6に示す。チャート式の方が変形量は大きく出る傾向となり、安全サイドの値を示す。地震に対する危険性の高い施設の抽出には十分な精度を有しており、時間と費用が無い状況でも適切に危険な箇所が把握できる。

入力画面例：

直立型(重力式)		値	備考
天端標高	T.P	5.40 (m)	左記は、1990年の施工図面による値。
	D.L	4.50 (m)	
H.H.W.L		D.L 3.10 (m)	
H.L		D.L 1.70 (m)	
高さH		14.00 (m)	3.0~20.0が概ね適用範囲
幅B		10.40 (m)	
D1		17.00 (m)	
B/H		0.74	自動計算(0.35~1.05が概ね適用範囲)
D1/H		1.21	自動計算(0.00~1.95が概ね適用範囲)
埋立土の等価N値		10.40	5≦等価N値≦25 ただし、細粒分含有率による補正は実施しない値
震換砂の等価N値		8.00	5≦等価N値≦25 ただし、細粒分含有率による補正は実施しない値
護岸形状による津波高さの補正係数		1.00	当面の間は、1.0を使用
防波施設の水深からの距離		10.40 (m)	防波施設の水深からの距離

出力画面例：

対象施設	残留水平変位	1.2 (m)	(参考) 111cm
残留鉛直変位	1.1 (m)	(参考) 40cm	
残留鉛直変位	0.4 (m)	(参考) 40cm	
残留鉛直変位	0.4 (m)	(参考) 40cm	

図-5 チャート式入力及び出力画面例

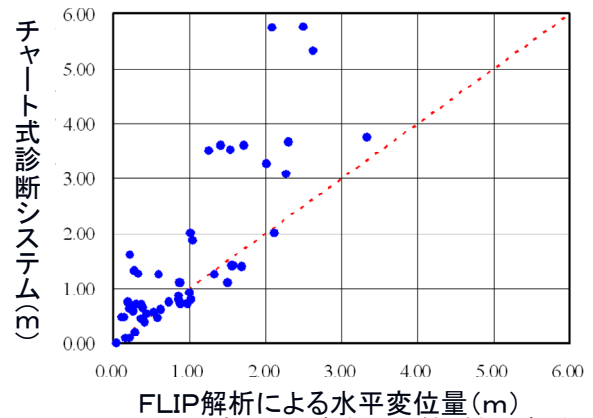


図-6 チャート式とFLIP解析の比較(水平変形量)

3. チャート式の使用事例

今回対象とした沿岸構造物の中には、整備年次が古く、入力に必要なデータが揃わないケースや、構造形式がチャート式に適用できないケースがあった。このようなケースについて、どう対処したのかを事例として紹介する。

(1) 入力条件の設定

チャート式の入力に必要なデータは「断面図」「土質」「地震動」である。

1) 土質

土質情報は地震時の変形量に影響が強い項目で、入力項目は護岸本体周辺地盤の等価N値である。

等価N値とは、各土層のN値を有効上載圧力が65kN/m²の場合の同一の相対密度等の土層のN値に換算したもので液状化判定の際の指標となる。

土質情報を収集したところ、対象施設直近の埋立前の海底地盤の土質情報は有るが、背後地盤(埋立土)の土質情報が無いケースがあった。

このようなケースの対処として、以下の2通りの方法で照査し、変形量を比較することが有効であった。

- ・近隣での土質情報を活用
- ・チャート式適用範囲内の最小値を採用

2) 地震動

地震動の評価は、施設の即時被害推定に用いる地震動指標の速度のPSI値²⁾で行い、入力項目はデータの有無により以下の3通りである。この入力により、速度のPSI値を算定できる。

- ① サイト特性を考慮して合成した予測地震動が有り、時刻歴波形データが有る場合
→時刻歴波形データを入力
- ② サイト特性を考慮して合成した予測地震動が有るが、時刻歴波形データが無い場合
→最大加速度を入力
- ③ サイト特性を考慮して合成した予測地震動が無い場合
→断層モデルを選択し対象施設の緯度・経度を入力（既存の最大加速度を距離補正）

入力別による精度は、①>②>③の順で高くなる。今回対象とした沿岸構造物の近隣では強震観測が行われておらず、レベル2地震動波形は作成していなかったが、対象断層の最大加速度は有ったので、②の方法で速度のPSI値を算定した。

(2) 構造形式の適用

チャート式の構造形式に適用しない特殊な構造形式を照査するケースでは、次のとおり対処した。

1) 事例1：矢板式（控え有り）の控え構造が松杭

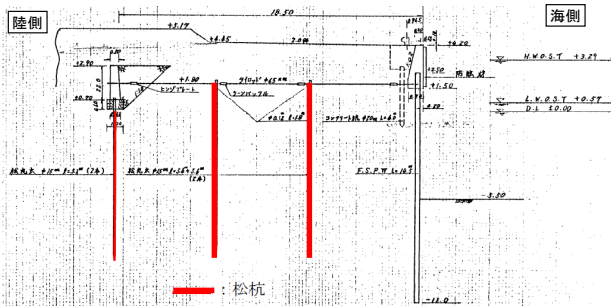


図-7 断面図（事例1）

「矢板型（控え直杭式）」と控え構造を考慮しない「矢板型（自立式）」で照査結果を比較し、変形量が厳しい方を当該施設の変形量とした。このように、構造の一部は適用できないが、類似の構造形式があれば、目的とする危険性の抽出には有効であった。

2) 事例2：構造形式がセル式

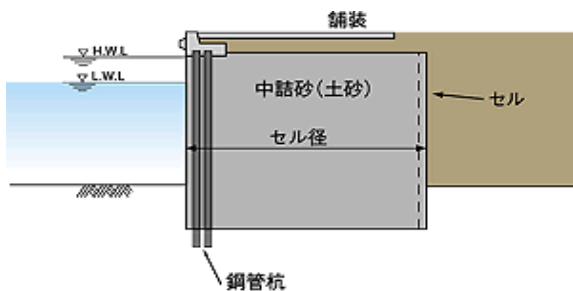


図-8 断面図（事例2）

構造形式は「直立型（重力式）」にてチャート式照査を行ったが、過去の事例でFLIPとチャート式の変形量を比較するとチャート式の変形量の方が顕著に小さな値を示す結果があることがわかっており、チャート式では危険性を過小に評価する恐れがあるため、セル式のチャート式適用は不可と判断した。

(3) 耐震診断結果の評価

チャート式の入力項目は少ない反面、入力データ次第では結果がかなり違ってくるため、モデルケースにおいて、FLIP計算結果とチャート式での結果を比較し、チャート式照査結果の精度向上に努めた。

(モデルケース)

図-7に示す矢板式（控え有り）の控え構造が松杭をモデルケースの構造形式とした。チャート式の比較対象は変形量が厳しい結果となった矢板型（自立式）とした。

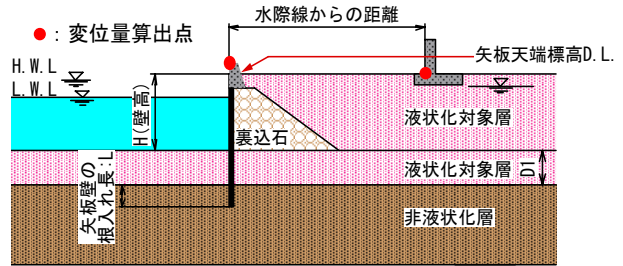


図-9 モデルケース（矢板型（自立式））

表-1はチャート式とFLIPの変形量算定結果を比較したもので、図-10はFLIP結果である。

表-1の変形量比較を見ると、チャート式の方がやや変形量が大きいものの、概ね合っていることが分かる。

表-1 変形量比較（チャート式とFLIP）

		残留変位(cm)	
		チャート式	FLIP
天端	水平	-363	-303
	鉛直	-2	-6

※水平の符号 -：海側へ移動 +：陸側へ移動
鉛直の符号 -：下方向（沈下） +：上方向

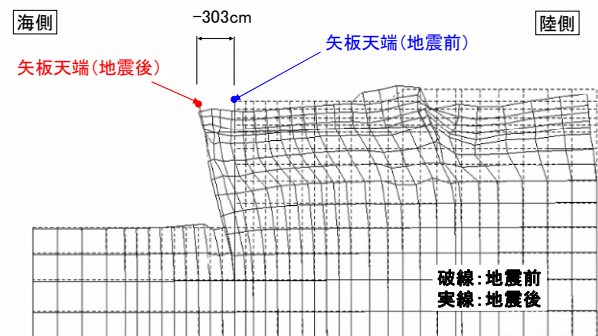


図-10 FLIP 結果

チャート式結果の方がやや大きな変形量になったこと
の理由として、以下のことが想定される。

- ・チャート式の構造形式は「矢板型（自立式）」を適用したが、控えの松杭が地震時の矢板の滑動抑制に多少効果を発揮している。
- ・「壁高」（図-9参照）は、矢板型（自立式）の場合のチャート式適用範囲（3～7.5m）以上となっており、変形量が大きめに算定された。
- ・深い位置（DL-15.5m）に沖積砂質土層が存在することから非液化化対象層と判断していたが、等価N値が低いこと（5未満）及びFLIP結果により液化化対象層であることが判明したことから液化化対象層としてチャート式照査した。
- ・液化化対象層の等価N値を算出する際、液化化の影響が強いと思われる陸側を対象に算定していたが、FLIP結果から海側も含めた算定が有効となった。

4. 関係機関への耐震検討サポート

(1) チャート式の説明会

防災対策検討において、早期に危険性の高い護岸を把握することが重要であり、チャート式を活用することにより、効率的な耐震診断を行えると述べたが、チャート式の存在や、操作方法等が施設管理者に十分周知されていないため、中国地方の臨海部石油コンビナート地区に立地する企業や自治体を対象にチャート式の説明会を実施した。

また、チャート式の照査に必要な「断面」「土質」データを、施設管理者によっては把握されていない場合があるので、現状把握の必要性を説いた。

開催日時：平成23年12月12日（月）14:00～16:00

平成23年12月13日（火）14:00～16:00

参加：4行政機関21民間企業 40人参加



図-11 システム説明会状況写真

聴講者からはチャート式貸与方法やチャート式計算結果の精度、チャート式のアウトプット項目、チャート式

計算結果の取扱い等質問が相次ぎ、関心が高いことが窺えた。なお、この説明会とは別に中国地方整備局管内の各事務所に対してもチャート式の説明を行い、各施設管理者の耐震検討サポート体制を充実するとともに技術力の向上を図った。

(2) 管理施設の耐震診断手法

耐震強化岸壁及び防災拠点に位置付けられている緑地・広場などを対象に、レベル2地震動に対する所要の耐震性能照査を行う必要が求められている。これに関してもチャート式を活用することが効率的であり、各港湾管理者へのチャート式の説明及び耐震検討サポートを行っている。

また、レベル2地震動に関して直轄で既に作成している情報等必要に応じて提供している。

(3) 港湾における液化化相談窓口の開設

国土交通省では、液化化対策に関する技術支援を行う一環として港湾局及び各地方整備局等に液化化相談窓口を開設し、港湾管理者や港湾施設を有する民間企業等に対して港湾施設の液化化に関する相談サービスを提供している。中国地方整備局では、広島港湾空港技術調査事務所に平成24年9月3日開設している。

液化化対策検討においても、チャート式の活用は効果的であり、相談サービスとしても積極的なチャート式の耐震検討サポートを行っている。

5. まとめ

チャート式は蓄積されたデータを基に簡易的に耐震診断を行うものであり、利用者の活用結果をフィードバックすることが、今後の高度化に役立つこととなる。

現在リリースされているチャート式では、今回紹介した適用できる構造形式の7種類に加え、防波堤も適用可能となっている。

そうしたことから、チャート式をより多くの利用者が幅広く使用することが、更なる高度化に繋がり、ひいては沿岸構造物の防災対策検討が促進し、安全安心の防災へ貢献できると考えることから、引続きチャート式を活用したとりくみを推進し、チャート式の利用普及を促していきたい。

参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会高圧ガス及び火薬類保安分科会高圧ガス部会（第16回）（7月11日）配付資料
- 2) 岸壁の即時被災推定に用いる地震動指標に関する一考察、第28回関東支部技術研究発表講演概要集、2001年