

沿岸構造物のチャート式耐震診断手法の開発

近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 調査課 木村 秀徳

1 序論

南海地震は、1946年の発生以来、既に半世紀を経過しており、近い将来において巨大地震の発生が懸念されている。今後30年間に南海トラフで地震が発生する確率は、東南海地震60%程度、南海地震50%程度（地震調査研究推進本部公開データ）と言われている。

南海地震をはじめとする海溝型地震に伴う津波に対して、防潮堤等の海岸保全施設が越流防止機能を保持しているかどうかによって、背後地への浸水が大きく異なる。海岸保全施設の越流防止機能を確保するためには、まず地震（揺れ）に対して、どの程度変形（沈下）するかを把握することが重要である。

近畿管内においては、海岸保全施設の約8割の施設が、耐震診断ができていない状況である。（図-1）この原因として、現状では施設の変形量を算定するための簡易な手法がないため、施設の変形量を精度良く算定できるものの、計算が煩雑で、多くの時間と費用を必要とする二次元有効応力解析（FLIP）等を実施する必要があることが指摘できる。

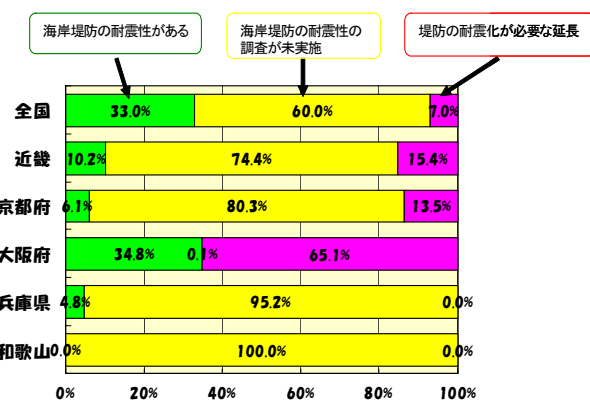


図-1 平成16年5月津波・地震対策状況調査結果（4省庁）

そこで、簡易的に沿岸構造物の耐震評価ができる手法があれば、全施設の簡易耐震診断を行い、施設の重要度（背後人口・資産等）を考慮して、詳細に耐震検討を実施し、対策工を検討する必要がある施設を抽出することができ、集中的かつ効果的な津波対策を実施することができる。

本検討では、直立型（重力式）、傾斜型（護岸式・堤防式）（図-2）について、施設の形状と地盤の強度等の情報から、施設の地震時の残留変位量を簡易的に評価できる手法を開発した。

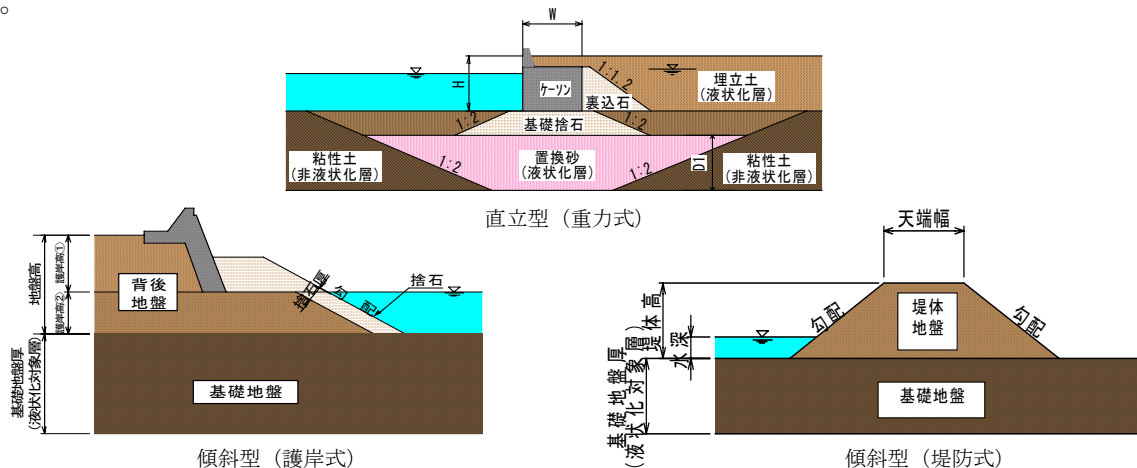


図-2 チャート式耐震診断手法適用形状

2 チャート式耐震診断手法の検討

各構造形式について、標準的と思われる施設形状や地盤条件を設定し、地震時の施設の変位量に影響すると考えられるパラメータ（地盤条件、施設形状、地震動）について、FLIP によるパラメトリックスタディを実施し、それらのパラメータが変位量に与える傾向を検討した。本検討のフローを図-3に示す。

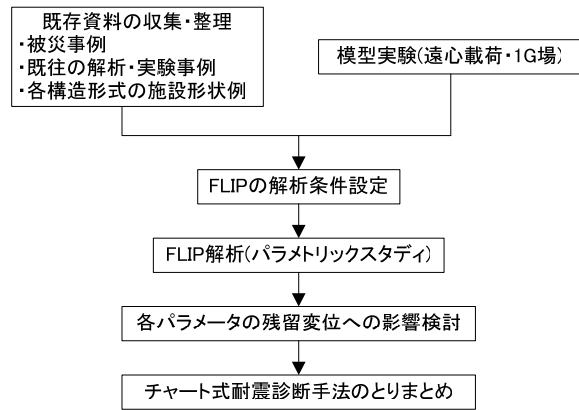


図-3 本検討フロー

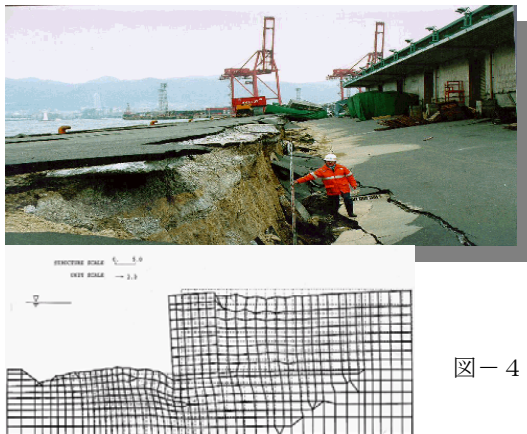


図-4 FLIP 解析例

FLIP 解析（図-4）とは、FEM（有限要素法）解析の一つで飽和砂の力学モデルとして2次元有効応力モデルを用いた解析手法であり、構造物の変形量の解析に加え、地盤情報に基づいて構造物や地盤の挙動を予測し、液状化の危険性を予測することが可能な解析プログラムである。

FLIP 解析については、耐震強化岸壁の変形照査を中心として種々の実務に使われており、また、解析精度の向上が図られているが、対象となる構造形式によって解析条件による精度に違いが出るため、適切な解析条件を設定する必要がある。そのために、既往の被災事例、模型実験及びFLIP 解析の比較検討からあらかじめFLIP の解析条件を設定し、FLIP によるパラメトリックスタディを実施した。

3 FLIPによるパラメトリックスタディ

直立型（重力式）、傾斜型（護岸式・堤防式）の構造形式毎に地盤条件、施設形状、地震動についてパラメータを設定し、FLIP によるパラメトリックスタディを実施した。地盤条件については、等価N値にて検討した。ここで等価N値とは各土層のN値を有効上載圧力が65(kPa)の場合の同一相対密度の土層のN値に換算したものである。施設形状については、全国における施設形状調査（東北～九州の港湾海岸を対象）を基に適用範囲・パラメータを設定し検討した。地震動については、直下型地震として兵庫県南部地震での観測波であるポートアイランド波を用いて検討した。また、海溝型地震は、海南、撫養、東京地点等でのサイト増幅特性を考慮して合成された地震動を用いて検討した。傾斜型（護岸式）の解析ケースを表-1に示す。

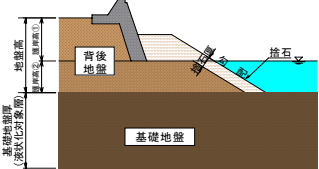
構造形式	傾斜型護岸タイプ																																																														
地盤条件	<table border="1"> <tr> <td>背後地盤</td> <td>等価N値5</td> <td>等価N値8</td> <td>等価N値10</td> <td>等価N値15</td> <td>等価N値20</td> <td>等価N値25</td> </tr> <tr> <td>基礎地盤</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値5</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値8</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値10</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値15</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値20</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>等価N値25</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </table>							背後地盤	等価N値5	等価N値8	等価N値10	等価N値15	等価N値20	等価N値25	基礎地盤	○	○	○	○	○	○	等価N値5	○	○	○	○	○	○	等価N値8	○	○	○	○	○	○	等価N値10	○	○	○	○	○	○	等価N値15	○	○	○	○	○	○	等価N値20	○	○	○	○	○	○	等価N値25	○	○	○	○	○	○
背後地盤	等価N値5	等価N値8	等価N値10	等価N値15	等価N値20	等価N値25																																																									
基礎地盤	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値5	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値8	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値10	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値15	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値20	○	○	○	○	○	○																																																									
等価N値25	○	○	○	○	○	○																																																									
入力地震動	神戸PI波；基礎最大加速度100gal刻み（100gal～600gal） 海南波；基礎最大加速度100gal刻み（100gal～600gal） （撫養港波・東京波・青森港波等の全国各地を対象に、サイト特性を考慮し作成された予測地震動）；基礎最大加速度300gal																																																														
形状パラメータ	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>CASE</th> <th>捨石傾斜</th> <th>護岸高① (m)</th> <th>護岸高② (m)</th> <th>液状化層厚 (m)</th> <th>捨石厚 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>1:1.5</td><td rowspan="3">4.0</td><td rowspan="3">3.0</td><td rowspan="3">7.0</td><td rowspan="3">1.0</td></tr> <tr><td>B</td><td>1:1.0</td></tr> <tr><td>C</td><td>1:3.0</td></tr> <tr><td>D</td><td rowspan="8">1:1.5</td><td rowspan="8">4.0</td><td rowspan="8">3.0</td><td>0.5</td><td rowspan="8">1.0</td></tr> <tr><td>E</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>F</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>G</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>H</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>I</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>J</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>K</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>a</td><td>2.0</td><td>0.0</td><td>15.0</td><td rowspan="4">1.0</td></tr> <tr><td>b</td><td rowspan="3">4.0</td><td rowspan="3">3.0</td><td>20.0</td></tr> <tr><td>c</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>d</td><td></td></tr> </tbody> </table>							CASE	捨石傾斜	護岸高① (m)	護岸高② (m)	液状化層厚 (m)	捨石厚 (m)	A	1:1.5	4.0	3.0	7.0	1.0	B	1:1.0	C	1:3.0	D	1:1.5	4.0	3.0	0.5	1.0	E	6.0	F	0.0	G	3.5	H	10.5	I	0.5	J	3.0	K	7.0	a	2.0	0.0	15.0	1.0	b	4.0	3.0	20.0	c	25.0	d								
CASE	捨石傾斜	護岸高① (m)	護岸高② (m)	液状化層厚 (m)	捨石厚 (m)																																																										
A	1:1.5	4.0	3.0	7.0	1.0																																																										
B	1:1.0																																																														
C	1:3.0																																																														
D	1:1.5	4.0	3.0	0.5	1.0																																																										
E				6.0																																																											
F				0.0																																																											
G				3.5																																																											
H				10.5																																																											
I				0.5																																																											
J				3.0																																																											
K				7.0																																																											
a	2.0	0.0	15.0	1.0																																																											
b	4.0	3.0	20.0																																																												
c			25.0																																																												
d																																																															
解析ケース	標準タイプ（等価N値15，海南波300gal，形状A） +形状を変更したケース43ケース +標準断面で地盤条件を変更したケース26ケース +標準断面で地震動を変更したケース30ケース =100ケース																																																														

表-1 傾斜型護岸の解析ケース

4 チャート式耐震診断手法のとりまとめ

FLIPによるパラメトリックスタディの結果より図-5（ここでは地盤条件（等価N値）が水平・鉛直残留変位に与える影響を評価したもの）に示すように各パラメータの残留変位への影響を定量的に評価した。それを地盤条件、施設形状、地震動によるパラメータが変形に与える補正係数（図-5右図においては、標準タイプの等価N値が15のため、例えば検討する構造物の等価N値が20の場合の補正係数は、 $0.3m/0.4m=0.75$ となる）とし、標準タイプにおける変位量に乗ずることで、沿岸構造物の地震時の変形量（水平・鉛直残留変位）を推定するものとした。傾斜型（護岸式）について、チャート式耐震診断手法のシステムへの入力項目、出力項目および計算例を図-6に示す。

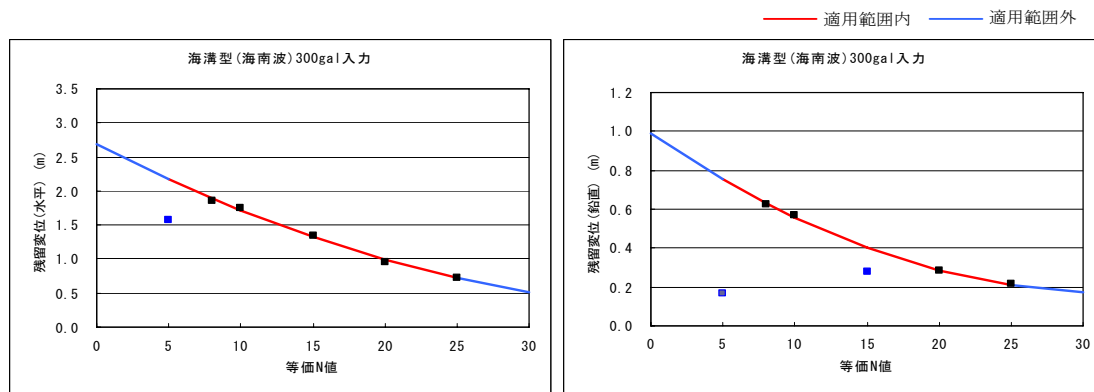


図-5 定量的な各パラメータの残留変位への影響評価例

<傾斜型（護岸式）>

入力項目	備考	入力例
地盤高さ (m)	概ね2.0~10.0が適用範囲	3.0
捨石厚 (m)	概ね0.0~3.0が適用範囲	1.0
勾配	概ね1:1.0~1:3.0が適用範囲	1:2.0
液状化対象層厚 (m)	概ね0.0~25.0が適用範囲	6.0
背後地盤の等価N値	概ね5 ≤ 等価N値 ≤ 25が適用範囲	10.0
基礎地盤の等価N値	概ね5 ≤ 等価N値 ≤ 25が適用範囲, ただし ≥ 背後地盤の等価N値	15.0
地震に関する情報 (速度のPSI値) (cm/s ^{1/2})	地震動タイプを選択又は基礎最大加速度を入力又はPSI値を入力	120.1



標準タイプの場合	残留鉛直変位 (m)	0.14
補正係数(各パラメータ毎の補正係数の積)	鉛直変位	3.29
出力項目	備考	計算例
①;天端標高 (m)	値は、D.L.表示 (入力項目を引用)	6.0
②;液状化の発生する可能性	過剰間隙水圧と鉛直ひずみより自動的に判定	高い
③;沈下量(沈下量) (m)	(正の値)=(沈下) $0.14 \times 3.29 \approx 0.5$	0.5
④;津波高さ (m)	値は、D.L.表示 (入力項目を引用)	2.7
⑤;護岸形状による津波高さの補正係数	当面の間は、1.0 (入力項目を引用)	1.0
⑥;排水沈下量 (m)	(正の値)=(沈下) 液状化対象層厚の3%	0.2
⑦;地盤沈降量 (m)	(正の値)=(沈下) (入力項目を引用)	1.0
⑧;余裕高さ (m)	⑧=①-③-④×⑤-⑥-⑦	1.7

■ はアウトプット

図-6 チャート式耐震診断手法の入力項目、出力項目および計算例

5 結論及び今後の課題

沿岸構造物の地震時における沈下等の変位について、従来の手法では健全か不健全かという定性的な判断しかできなかったが、本手法の開発により、Excel ベースのチャート化された計算プログラムに必要項目を入力するという簡易な手法により、変位量を定量的に推定することがある程度可能になった。ただし、地震時における施設の挙動については、詳細な検討方法でさえその精度に解明すべき多くの課題が残されている。今回のチャート式耐震診断手法についても、その精度、使用面で課題が残されている。より実挙動に近づけるために実際の被災事例や実験、詳細な解析方法との比較検討を進める必要がある。

また、今回の検討は直立型（重力式）と傾斜型（護岸式・堤防式）について行ったものであり、その他の構造形式として数多く存在する矢板式の開発に取り組んでいるところである。

チャート式耐震診断手法が広く使用されることにより、沿岸構造物の地震時の危険箇所を事前に把握し、数多くのソフト対策、ハード対策に活用されることを望むものである。

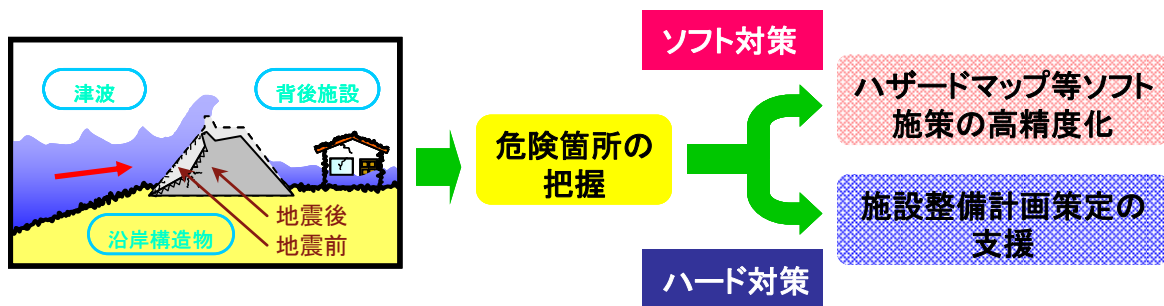


図-7 チャート式耐震診断手法の活用イメージ