

傾斜式護岸のレベル1地震動を対象とした簡易耐震照査手法の基礎的研究

国土技術政策総合研究所	正会員	長尾 毅
中央復建コンサルタンツ(株)	正会員	○栗原 直範
中央復建コンサルタンツ(株)	正会員	尾崎 竜三

1. まえがき

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震の他にも、全国の沿岸域で巨大地震の発生と地震による津波の来襲が懸念されている。例えば、今後 30 年の間に南海トラフで大規模な地震が発生する確率は南海地震で 50%、東南海地震で 60%とも言われている¹⁾。わが国は、四方を海に囲まれるといった地理的条件にあることから、従前より地震発生後に来襲する津波や高潮から国土を防護するための施設として、様々な形式の護岸が整備されてきた。2004 年には、海岸保全施設の技術上の基準・同解説の性能規定化への対応が図られており、護岸の設計においては、地震発生後の護岸性能の確保を目的として、所要の天端高が満足されるように、地震作用による護岸沈下の予測量を水理的に定められた天端高に加えておく必要があると明記された。現在のところ、地震作用による護岸沈下の予測量を精度良く推定する手法としては、2 次元地震応答解析(以下、2 次元解析と称す。)が挙げられるが、本手法は計算負荷が非常に大きいため、特にレベル 1 地震動に対する耐震照查手法として設計実務に適用することは現実的では無い。そこで、レベル 1 地震動に対しては、簡易でありながら、護岸の天端沈下量のある程度の精度で評価できる照查手法を確立することが必要と考える。既往の研究では、例えば、住谷ら²⁾は傾斜式護岸の勾配・壁高さ及び地震動の周波数特性が傾斜式護岸の変形特性に及ぼす影響について検討を行っているが、沈下量を直接的に評価する手法に関する研究事例は少ないのが現状である。そこで、本研究では、傾斜式護岸のレベル 1 地震動に対する簡易耐震照查手法について検討を行った。

2. 研究の内容

図-1、表-1 に示す傾斜式護岸の断面、表-2 に示す地盤条件に対して、最大加速度を 100Gal, 300Gal, 及び 500Gal と変化させた八戸港波(卓越周波数 0.83Hz), 苫小牧港波(卓越周波数 1.04Hz), 岩国港波(卓越周波数 4.21Hz), 博多港波(卓越周波数 2.31Hz), 高知港波(卓越周波数 1.22Hz)の計 5 波形を入力地震動として 2 次元解析を実施し、傾斜式護岸の堤体中央部の初期応力状態や動的特性を把握した。また、簡易耐震照査手法として、2 次元解析で着目した要素列(図-1)を対象に、沈下を評価できる境界条件でモデル化した 1 次元地震応答解析モデルを作成し(図-2)、表-3 に示すケースについて、護岸天端の沈下量を推定した。まず、解析実行に必要な初期応力や加震中の直応力の変動について、2 次元解析により求められた値を参照した解析モデルにより地震応答解析を実施し、提案モデルの適用性を確認した(予備検討)。次に、予備検討の case4 の発展形として、初期鉛直応力について 2 次元解析を参照することなく推定モデルを適用した値を用いて地震応答解析を実施し、推定される沈下量の精度検証を行った(提案モデル)。

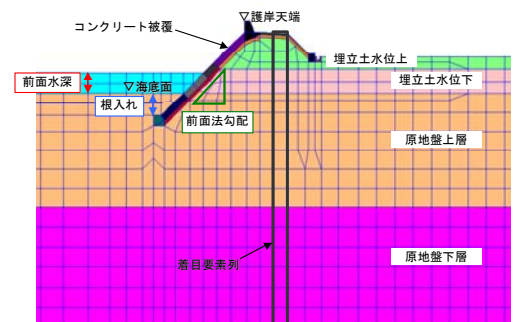


図-1 解析モデル

表-1 検討断面

前面水深 (+m)	各標高 (+m)	前面法勾配1:1		前面法勾配1:3
		根入れ長1.0m	根入れ長2.0m	根入れ長1.0m
-1.5	海底面	+1.5	+1.5	+1.5
	護岸天端高	+5.5	+5.5	+5.2
-2.8	海底面	+0.2	+0.2	+0.2
	護岸天端高	+6.8	+6.8	+6.8
-4.0	海底面	-1.0	-1.0	-1.0
	護岸天端高	+7.0	+7.0	+7.0
-6.0	海底面	-3.0	-3.0	-3.0
	護岸天端高	+7.0	+7.0	+7.0
-9.0	海底面	-6.0	-6.0	—
	護岸天端高	+7.0	+7.0	—

キーワード 傾斜式護岸，地震応答解析，耐震照査

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) TEL06-6160-2162

表-2 地盤定数

土層区分		湿润密度 ρ (t/m³)	基準有効 拘束圧 σ _{ma} ' (kN/m²)	基準初期 せん断剛性 G _{ma} (kN/m²)	基準初期 体積剛性 K _{ma} (kN/m²)	ポアソン比 ν	せん断剛性 パラメタ m _G	体積剛性 パラメタ m _K	粘着力 C (kN/m²)	内部 摩擦角 φ _i (Deg.)	間隙率 n	最大 減衰定数 h _{max}
敷砂		2.0	98	1.800E+05	4.694E+05	0.33	0.5	0.5	0	40	0.45	0.24
埋立土	水位上	1.8	89.8	2.592E+04	6.760E+04	0.33	0.5	0.5	0	37	0.45	0.24
	水位下	2.0	89.8	2.592E+04	6.760E+04	0.33	0.5	0.5	0	37	0.45	0.24
原地盤	上層	2.0	239.8	4.500E+04	1.174E+05	0.33	0.5	0.5	0	38	0.45	0.24
	下層	2.0	239.8	4.500E+04	1.174E+05	0.33	0.5	0.5	0	38	0.45	0.24

表-3 検討ケース

Case No.	初期鉛直応力 σ_{yy}	初期水平応力 σ_{xx}	初期せん断 応力 τ_{xy}	動解時の直応力 (σ_{yy}, σ_{xx})の変動
1	考慮あり	考慮あり	考慮あり	考慮あり
2	考慮あり	考慮あり	考慮あり	考慮なし
3	考慮あり	考慮なし	考慮なし	考慮あり
4	考慮あり	考慮なし	考慮なし	考慮なし

※)考慮ありは、2次元解析の初期時、加震時の応力状態を再現したケース

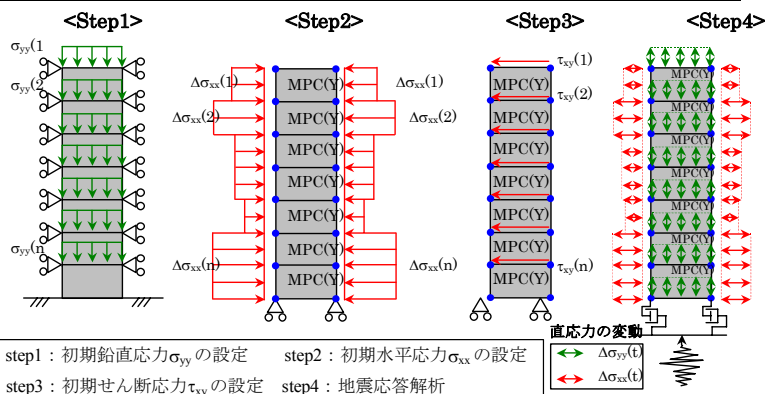


図-2 提案モデル

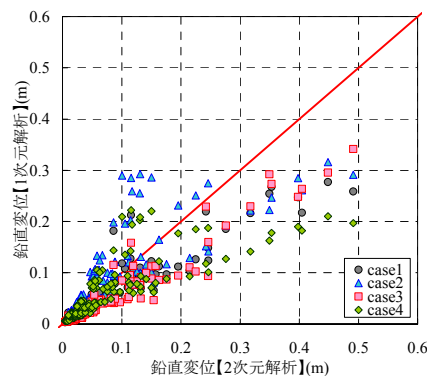


図-3 沈下量比較【予備検討】

$$\sigma_{yy} = \gamma y + \Delta\sigma_{yy} \quad (\text{式-1})$$

$$I_\sigma = \frac{1}{\pi} \left\{ \beta + \frac{x\alpha}{a} - \frac{y}{R^2} (x-a-b) \right\} \quad (\text{式-2})$$

$$I_\sigma = \frac{\Delta\sigma_{yy}}{p_0} \quad (\text{式-3})$$

ここに、 $\beta, \alpha, x, y, a, b, R$ は、図-4 に示すとおりであり、 $\Delta\sigma_{yy}$ は荷重の作用により生じる鉛直応力、 γ は土の単位体積重量(kN/m³)、 γy は荷重作用がない場合の着目位置における鉛直応力である。提案モデルにより推定された沈下量は、鉛直変位が 0.2m 以上の範囲については過小評価の可能性があるものの、それ以下の範囲では 2 次元解析の沈下量を概ね推定できることが確認できた(図-6)。

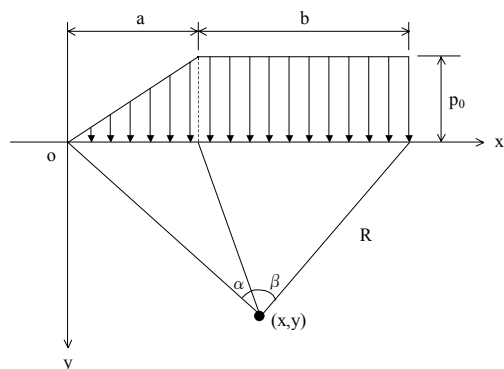


図-4 盛土荷重条件【Osterberg】

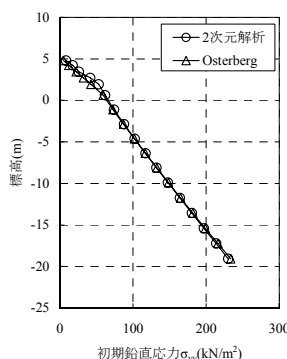


図-5 鉛直応力比較

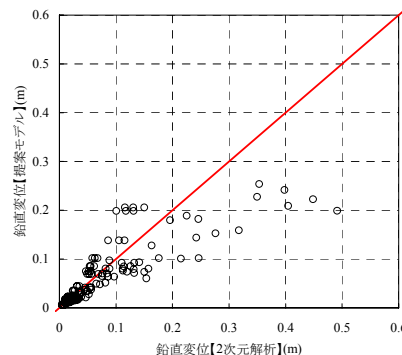


図-6 沈下量比較(case4)【提案モデル】

4. 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：海溝型地震の長期評価の概要(算定基準日平成 18 年(2006 年)1 月 1 日)
- 2) 住谷ら：傾斜式護岸の耐震性能設計体系構築に向けての基礎的考察，土木学会地震工学論文集，pp.580-586，2007