

(1) フィルターb値

フィルターb値は、式(1)に示すように、施設の壁高H、基礎地盤の初期固有周期 T_u 、背後地盤の初期固有周期 T_b により算定され、算定値に対して式(2)に示す上限・下限(最小でも0.28)が設定されている。

$$b = 1.05 \frac{H}{H_R} - 0.88 \frac{T_b}{T_{bR}} + 0.96 \frac{T_u}{T_{uR}} - 0.23 \quad \text{式(1)}$$

$$0.04H + 0.08 \leq b \leq 0.04H + 0.44 \quad \text{式(2)}$$

ただし、 $b \geq 0.28$

このフィルターb値は、工学的基盤の深さと堆積層の地盤特性により図-2.2に示すように上限値、算定値、下限値の3つに分布する。

図-2.2は室蘭港における事例であり、工学的基盤の深さは、-10m~35mに変化し、堆積層は砂・シルト・粘土の互層となっている。

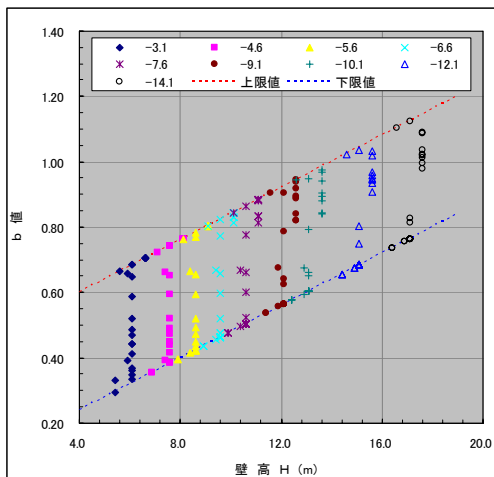


図-2.2 壁高Hとb値の関係(室蘭港)

一方、稚内港のように工学的基盤が-10m程度と浅い場合には図-2.3に示すように、フィルターb値は下限値で決定され、b値は壁高Hにより一意的に決定される。また、図-2.4に示すように苫小牧西港の場合には、工学的基盤が-40m以深と深く上限値でb値は壁高Hにより一意的に決定される。

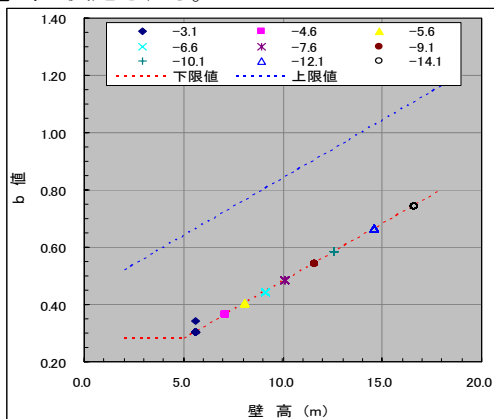


図-2.3 壁高Hとb値の関係(稚内港)

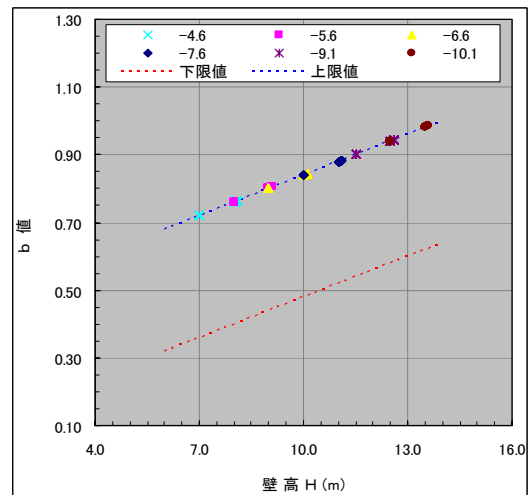


図-2.4 壁高Hとb値の関係(苫小牧西港)

これらの特徴からフィルターb値は、以下のように決定された。

- 工学的基盤が深い場合には「上限値」
= 計算式(2)壁高Hの一次関数で決定
- 工学的基盤が浅い場合には「下限値」
= 計算式(2)壁高Hの一次関数で決定
- 工学的基盤が中の場合には「算定値」
= 計算式(1)で決定

(2) b値が3つに分布される場合の簡易算定式のパラメーター特性

b値が上限値、下限値、算定値の3つに分布する室蘭港(重力式)における照査用震度の簡易算定式としてフィルターb値の適用性について整理した結果を図-2.5に示す。

a) フィルターb値と照査用震度の関係

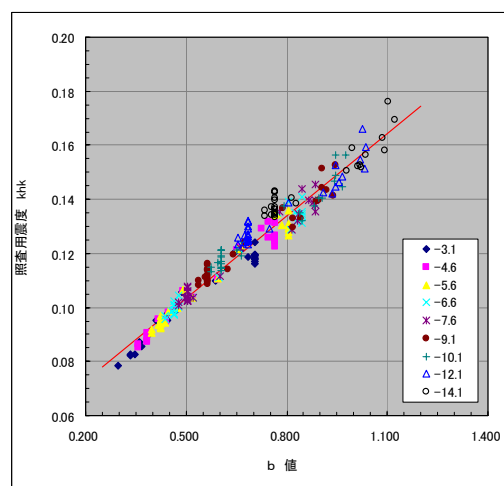


図-2.5(a) 全体(室蘭港)

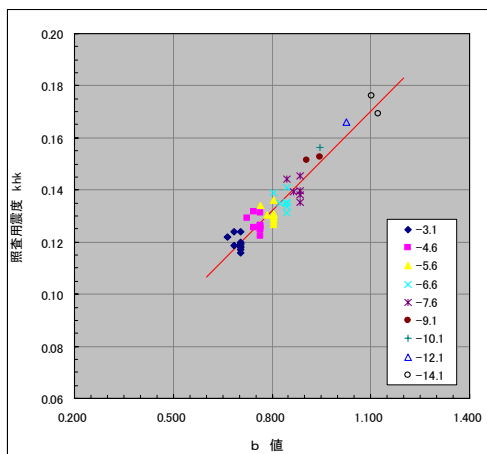


図-2.5(b) 上限値 (室蘭港)

b) 壁高Hと照査用震度の関係

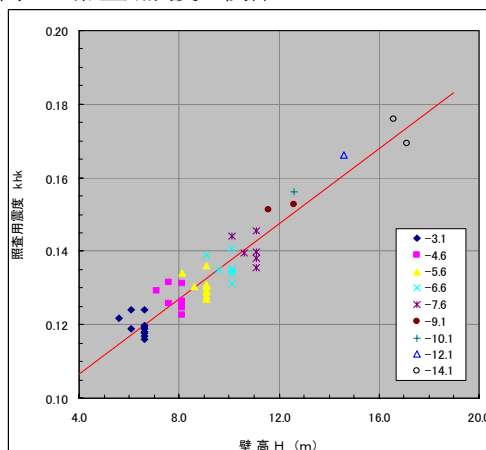


図-2.6(a) 上限値 (室蘭港)

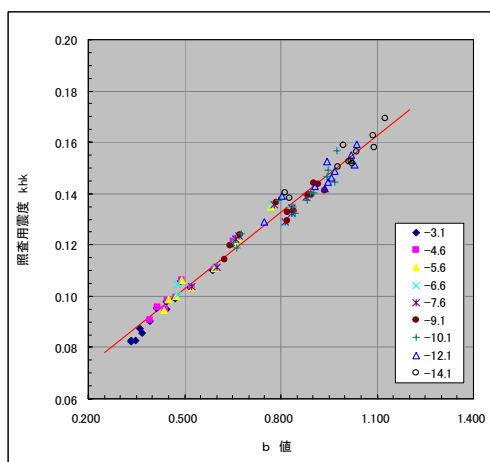


図-2.5(c) 算定値 (室蘭港)

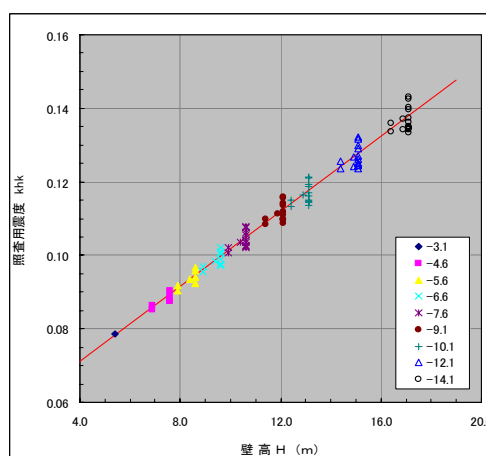


図-2.6(b) 下限値 (室蘭港)

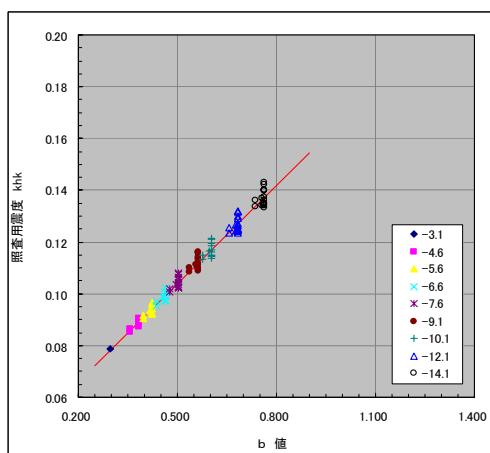


図-2.5(d) 下限値 (室蘭港)

b 値の決定	壁高Hと khk	b 値と khk
全体	適用不可	$khk=0.1015b+0.0528$
上限値	$khk=0.0051H+0.0863$	$khk=0.1274b+0.0302$
算定値	適用不可	$khk=0.0996b+0.0531$
下限値	$khk=0.0051H+0.0509$	$khk=0.1265b+0.0407$

表-2.1 照査用震度との関係式 (室蘭港)

上記の結果、フィルターb値の決定要因毎に照査用震度とb値との相関性が得られ、簡易算定式を一次回帰式にて整理することが可能となる。しかし、b値を求めるためには地盤特性から基礎地盤の初期固有周期 T_u や背後地盤の初期固有周期 T_b を算出する等の計算負荷が伴うこととなる。一方、上限値や下限値は壁高Hの一次関数で設定されることから、壁高Hをパラメーターとすることで、より計算負荷の軽減を図ることが可能と考えられる。

以上のように、フィルターb値が上限値や下限値で決定される場合には、壁高Hで照査用震度を算定する一次回帰式を得ることが可能となるが、算定値においてはフィルターb値をパラメーターとして一次回帰式とする必要がある。

(3) b値が下限値の場合の簡易算定式のパラメーター特性

b値が下限値にて決定されるのは工学的基盤が浅く堆積層の地盤特性が一樣な場合において、このような特性が見られるが、地震動の応答特性によっては照査用震度にバラツキを有する場合がある。その事例として、稚内

港と紋別港を取り上げ図-2.7に示す。

稚内港の工学的基盤の深さは-5m~-12m、紋別港は-3m~-15mに分布し、b値は下限値で決定される。

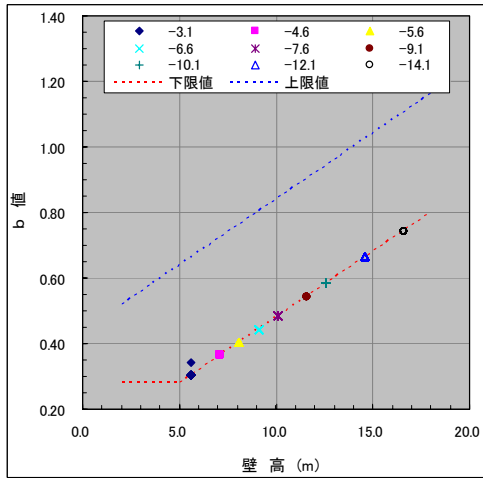


図-2.7(a) 壁高Hとb値の関係 (稚内港)

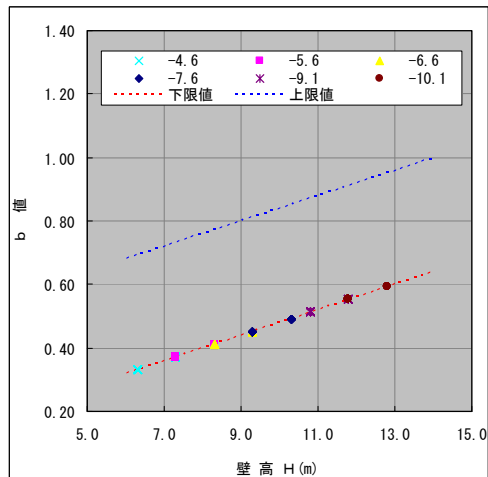


図-2.7(b) 壁高Hとb値の関係 (紋別港)

b値は両港共に下限値で決定されるが、図-2.8に示すように稚内港の照査用震度には変動が小さく相関性が見られるが、紋別港においては変動幅が大きくなっている。

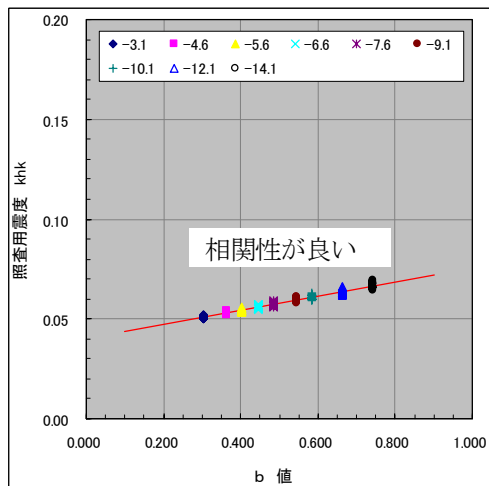


図-2.8(a) b値と K_{hk} の関係 (稚内港)

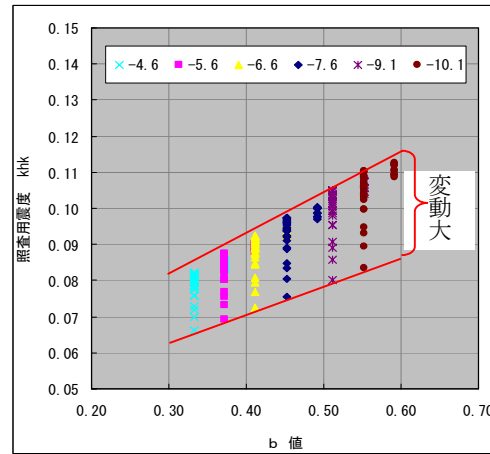


図-2.8(b) b値と K_{hk} の関係 (紋別港)

b値が下限値にて決定されていても照査用震度の変動が異なるのは、地震動の応答特性によるものと考えられる。

以上のことから照査用震度を算定するための簡易算定式のパラメーターは、地震動の応答特性の変動が小さな稚内港においては、壁高Hで一次回帰式を導入することが可能となりそうだが、紋別港のような場合には施設規模毎にTbにて一次回帰式とする必要がある。

3. 工学的基盤(岩盤)が浅い場合におけるレベル1照査用震度の算定

レベル1照査用震度算定において、工学的基盤(岩盤)が浅い場合、壁体下の地盤の初期固有周期: T_u は小さくなり、設計水深より工学的基盤(岩盤)が浅い場合は、 T_u の定義が困難となる。仮に、 $T_u=0.0$ とすると、b値は T_u によらず、壁高Hか背後地盤の初期固有周期: T_b によって決定される。

表-3.1は T_b として0.1s~1.3sの範囲、岸壁の壁高を7m~14.5m(天端+2.5m、水深-4.5m~-12m)に想定した場合におけるフィルターの係数bの算定例である。

水深が深いほどb値は大きくなるものの、 T_b が特に短い条件以外では、b値が負になるか、あるいは壁高: Hを用いた下限値($0.04H+0.08$)以下となりb値は全て下限値($b=0.04H+0.08$)で決定される。

$T_u=0.000$ (基礎地盤厚 $h=0.0m$)

岸壁水深	壁高 H	b算定値						b下限値 $0.04H+0.08$
		$T_b=1.3$	$T_b=1.0$	$T_b=0.8$	$T_b=0.4$	$T_b=0.2$	$T_b=0.1$	
-4.5	7.0	-1.170	-0.840	-0.620	-0.180	0.040	0.150	0.360
-7.5	10.0	-0.960	-0.630	-0.410	0.030	0.250	0.360	0.480
-9.0	11.5	-0.855	-0.525	-0.305	0.135	0.355	0.465	0.540
-10.0	12.5	-0.785	-0.455	-0.235	0.205	0.425	0.535	0.580
-12.0	14.5	-0.645	-0.315	-0.095	0.345	0.565	0.675	0.660

表-3.1 フィルターの係数bの算定例

このように岩盤が浅い場合の照査用震度算定方法の適用性について、図-3.1のフローに基づき検討を行う。

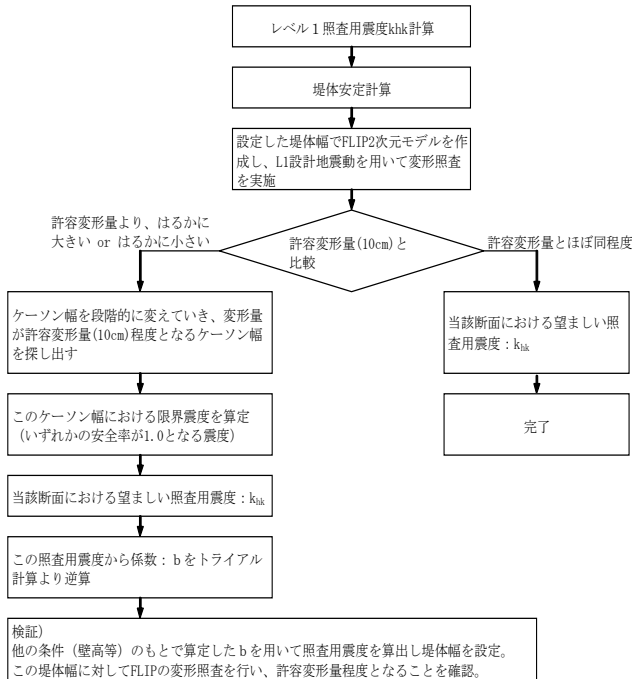


図-3.1 岩盤が浅い場合の照査用震度算定フロー図

(1) レベル1 照査用震度の算定

照査用震度の算定にあたっては、工学的基盤となる岩盤が浅い紋別港をモデルとして検討を行い、また、再現性を確認する為に十勝港において最大加速度が最大となるケースを比較対象とした。

照査用震度は以下の条件をモデルとして検討を行った。

- ・天端高：+2.0m
- ・残留水位：+0.4m [1/3 × (1.20 - 0.00) = 0.40]
- ・上載荷重：10.0 kN/m² (地震時)
- ・検討ケース：以下の4ケース

	計画水深 (m)	設計水深 (m)
Case1	-3.0	-3.1
Case2	-4.5	-4.6
Case3	-5.5	-5.6
Case4(十勝港)	-5.5	-5.6

表-3.2 検討ケース

※Case4(十勝港：最大加速度が最も大きい)は比較のため実施する。

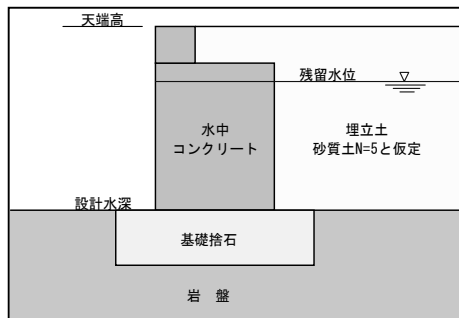


図-3.2 検討モデル

岩盤の物性値より算定したb値の結果を表-3.3に示す。その結果、算定値ではb値の適用範囲 (0.04H+0.08 ≤ b ≤ 0.04H+0.44、ただし、b ≥ 0.28) 外となるため下限値で決定される。

	H (m)	Tb (s)	Tu (s)	b値			
				算定値	下限値	上限値	決定値
Case-1	5.10	0.161	0.000	-0.051	0.284	0.644	0.284
Case-2	6.60	0.203	0.000	0.008	0.344	0.704	0.344
Case-3	7.60	0.231	0.000	0.048	0.384	0.744	0.384
Case-4	7.60	0.231	0.000	0.048	0.384	0.744	0.384

表-3.3 b値の算定結果

次に、1次元モデルによる地震応答計算をFLIPで行い、地表面加速度等からL1照査用震度を算定した。

	地表面加速度の最大値	フィルター処理後の加速度最大値	フィルター処理後の加速度時刻歴の二乗和平方根	低減率	補正加速度最大値	照査用震度の特性値
	PGA (cm/s ²)	α f (cm/s ²)	S (cm/s ²)	p	α c (cm/s ²)	khk
Case-1	338.54	29.07	382.15	0.64	18.53	0.07
Case-2	343.16	38.33	513.84	0.64	24.7	0.08
Case-3	334.35	43.68	584.89	0.64	28.13	0.09
Case-4	377.82	49.87	717.7	0.67	33.41	0.1

表-3.4 照査用震度の算定結果

(2) 堤体幅の算定

堤体幅は、従来の設計基準に基づき地震時の安全性 (滑動安全率：1.0、転倒安全率：1.1、支持力：端し圧 < 500kN/m²) より算定した。

各ケースの算定結果を表-3.5に示す。また、底面摩擦係数はμ=0.6としている。

	B(m)	滑動F	転倒F	端し圧 (kN/m ²)
Case-1	2.5	1.159	1.328	425.27
Case-2	3.4	1.145	1.355	493.15
Case-3	4.2	1.143	1.432	481.98
Case-4	4.4	1.117	1.458	464.67

表-3.5 各ケースの算定結果

(3) 変形照査

表-3.6に各ケースの天端残留変形量を示す。また、図-3.3にその変位時刻歴・残留変位図を示す。その結果、全てのケースで残留変形量がレベル1地震動に対する標準的な変形量の許容値の10cm以下であった。

	残留変形量 (cm)	
	X	Y
Case-1 (紋別港 DL-3.1)	-7.136	-3.56
Case-2 (紋別港 DL-4.6)	-7.782	-4.376
Case-3 (紋別港 DL-5.6)	-6.573	-4.367
Case-4 (十勝港 DL-5.6)	-6.51	-4.724

表-3.6 各ケースの天端残留変形量

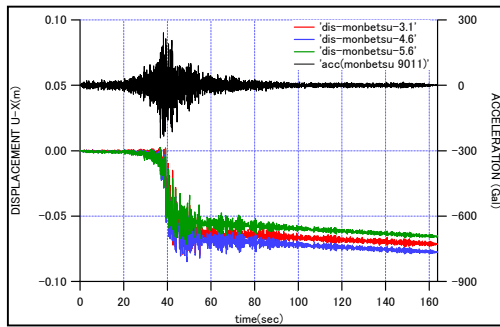


図-3.3(a) 変位時刻歴 (紋別港)

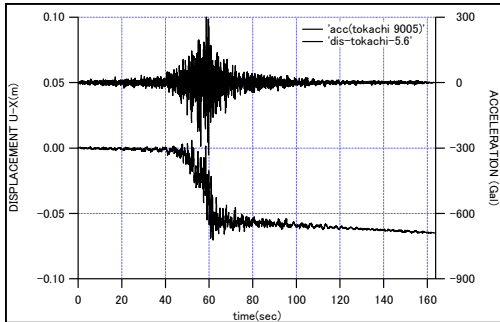


図-3.3(b) 変位時刻歴 (十勝港)

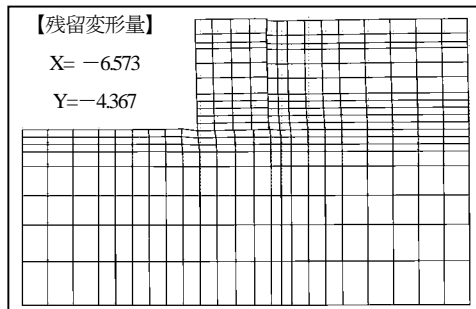


図-3.3(c) 残留変形図 (紋別港 : case-3)

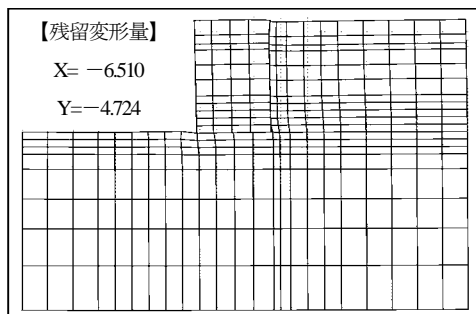


図-3.3(d) 残留変形図 (十勝港 : case-4)

4. おわりに

(1) 照査用震度の簡易算定法の検討

レベル1地震動による照査用震度を算定するには、工学的基盤層の確認、地盤特性を考慮した固有周期の算定、地震応答計算の実施等、設計実務における相当な計算負荷を伴うことから、設計実務者における算定結果のバラツキを無くすことを目的として、簡易算定法の導入について検討を行ってきた。

これまでに実施した各港湾における検討結果から、以下の知見を得ることができた。

- フィルターb値は工学的基盤の深さに応じて、上限値、下限値、算定値の3つに分布され、深い場合には「上限値」、浅い場合には「下限値」、中位の場合には「算定値」となる傾向にある。
- b値が3つに分布される場合、決定要因毎のb値と k_{hk} との相関性が見られる場合には、b値をパラメータとした一次回帰式で整理が可能と思われる。
- 照査用震度を算定するための簡易算定式のパラメータとして、b値が上限値や下限値で決定される場合、地震動の応答特性に変動が小さく相関性が見られる場合には、壁高Hで一次回帰式が得られそうであり、変動幅が大きな場合には施設規模毎にTbによる一次回帰式を導入することが必要かと思われる。
- 今後は、残りの港湾に対する検討を実施し、これまでに蓄積された知見をもとに、更なる精度の向上と設計実務における計算負荷の軽減を図ることを目的として、照査用震度の簡易算定指標について整理する方針である。

(2) 工学的基盤(岩盤)が浅い場合における照査用震度の適用性

工学的基盤(岩盤)が浅い場合における照査用震度について、以下のようなことを確認できた。

- ・壁体下の地盤固有周期 $T_u=0.0$ のフィルター値bを用いてL1照査用震度を算定をもとに変形照査用のモデル断面を仮定し各ケースの変形照査を実施したところ、全てのケースで残留変形量がL1地震動に対する標準的な変形量の許容値である10cm以下であった。

以上より、工学的基盤(岩盤)が浅い場合であっても、港湾基準の照査用震度算定方法を適用できることが確認できた。よって、北海道で採用事例の多い岩着構造においても、モデルで想定したマウンド構造より変形量が小さくなることから、当照査用震度算定方法に準じて問題ないと考えられる。

謝辞: 本検討に際し多大な御協力頂いた各開発建設部築港課及び港湾事務所の担当者の方々に対し深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成19年7月、(社)港湾日本港湾協会
- 2) 土木構造物の耐震設計ガイドライン(案)-耐震基準作成のための手引き-2001年9月、Sep、2001、土木学会地震工学委員会、耐震基準小委員会
- 3) レベル1地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定手法、2006、June、国土技術政策総合研究所資料
- 4) 国土技術政策総合研究所HP、<http://www.nilim.go.jp/engineer/index.html>