

杭式栈橋方式による海上空港の耐震性に関する フィージビリティスタディ

新日本製鐵(株) 正会員 岡村 章 萩原政弘
清水建設(株) フェロー 藤田 親 清水建設(株) 正会員 出羽克之 木全宏之

1. はじめに 筆者らは、杭式栈橋方式の海上空港への適用性に関し、種々の検討を実施してきた。杭式栈橋方式を海上空港へ適用した場合、大規模構造となり、海底面からの基礎杭の突出長も長く、通常の杭式栈橋とは異なった地震時挙動特性を有していると考えられる。また、1995年の兵庫県南部地震以降、各種土木構造物について、とりわけ巨大地震(レベル2地震)時の耐震性安全性に注目が集められている。本報は、海上空港として想定した杭式栈橋に対し、動的応答解析を実施してレベル2地震時の耐震性に関するフィージビリティスタディを行った結果について示したものである。

2. 基本構造 水深2m(ケース1)と水深30m(ケース2)について、想定した杭式栈橋の基本構造(モジュール)を図1、図2に示す。基本構造は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾に準拠し、通常地震(レベル1地震)に対して許容応力度法による設計計算を実施して設定した。

3. 動的応答解析

(1) 基本方針 海底地盤として、レベル2地震時に液状化の発生が予想される軟弱な砂質土地盤を想定した。これより、動的応答解析は、有効応力解析を基本として実施した。解析プログラムは、運輸省港湾技術研究所で開発された「FLIP」²⁾を適用することとし、平面ひずみ状態を仮定した2次元有限要素法による有効応力解析を実施した。一方、構造物に関しては、線形弾性体と仮定し、Newmarkのエネルギ―一定則より、レベル2地震時の非線形弾塑性応答を近似的に算出して、構造物の変形性能照査を行った。図3に解析フローを示す。

(2) 解析条件 地盤は平面ひずみソリッド要素、構造物は梁要素としてモデル化した。海水は流体要素によりモデル化し、水位はH.W.L.+2.00と設定した。地盤の洗掘深として2mを考慮し、洗掘地盤はモデル化の対象から除外した。解析モデルの下方境界は、鉛直方向固定、水平方向は粘性境界とした。側方境界は、鉛直、水平の両方向とも粘性境界とした。表1、表2には、ケース1について、構造物ならびに地盤の解析定数一覧を示す。「港湾の施設の技術上の基準・同解説」が運輸省港湾局の通達³⁾により、一部暫定改訂され、レベル2地震の入力地震波として「ポートアイランド基盤波」、「八戸波」、「大船渡波」が規定されている。想定した杭式栈橋は固有周期2秒以上の長周期構造物であり、また、レベル2地震時には支持地盤が強い非線形性を呈することから、支持地盤自体、長周期化すると予想される。これより、本解析では、安全側の配慮から、上記3波の内、最も長周期成分の卓越した「八戸波」を入力地震波として適用することとした。入力地震波の最大加速度 A_{cor} は、同通達より、次式に示す距離減衰式から $A_{cor}=635gal$ と設定した。マグニチュード $M=8.0$ を想定し、安全側に断層面距離 $X=0km$ と仮定した。図4に入力地震波の時刻歴波形を示す。

$$\log_{10} A_{cor} = 0.55M - \log_{10}(X + 0.0050 \cdot 10^{0.55M}) - 0.00122X + 0.502 \quad (1)$$

A_{cor} : 最大加速度(gal), M : マグニチュード(=8.0), X : 断層面距離(=0km)

(3) 解析結果 表3に動的応答解析結果を示す。上部工天端での最大加速度は、ケース1、2でそれぞれ304gal、239galであり、入力地震波の最大加速度635galに対する応答倍率は、0.4~0.5程度となっている。塑性率に関しては、各部材で1.4~3.6となっている。ところで、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」では、レベル2地震に対する杭式栈橋の耐震規定が定められておらず、例えば、「道路橋示方書・同解説」³⁾では、塑性率の制限値は4程度が目安となっている。これより、塑性率に関する解析結果は同基準の制限値以下となっていることがわかる。

4. まとめ レベル2地震を対象とした動的応答解析結果より、海上空港として想定した杭式栈橋の塑性率は2~3程度であり、巨大地震時の耐震性に問題がないことが確認された。なお、本研究は、全19社によって結成した沖縄海洋空間利用技術研究会での活動成果の一部として報告したものである。

キーワード: 杭式栈橋方式, 海上空港, フィージビリティスタディ, レベル2地震, 動的応答解析

〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館 TEL (03)5441-0598 FAX (03)5441-0511

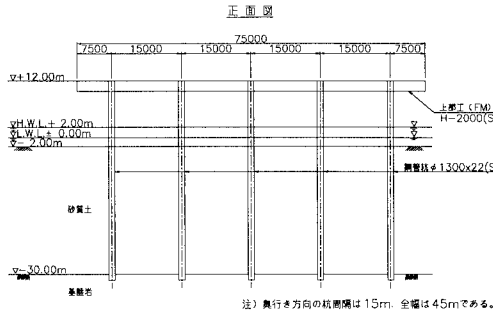


図1 杭式栈橋の基本構造(ケース1:水深2m)

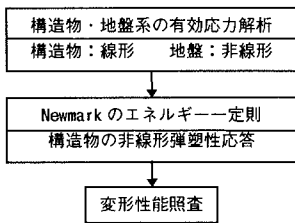


図3 解析フロー

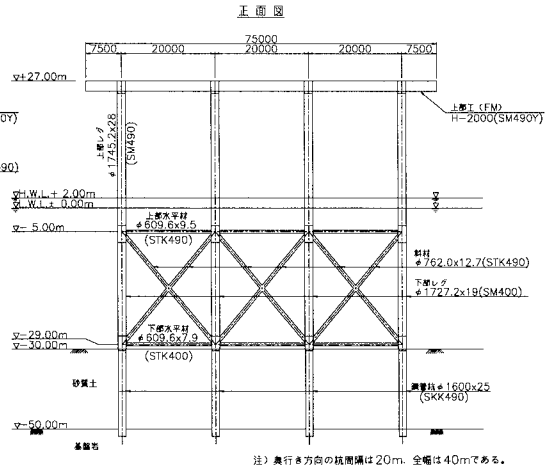


図2 杭式栈橋の基本構造(ケース2:水深30m)

表1 構造物の解析定数一覧(ケース1:水深2m)

	重量 W	ヤング係数 E (tf/m ²)	断面積 A (cm ²)	断面2次 モーメント I (cm ⁴)
上部工 (FM)	2.40tf/m ²	2.10×10 ⁷	6.73×10 ²	4.28×10 ⁶
鋼管杭	0.693tf/m		8.83×10 ²	1.80×10 ⁶

表2 地盤の解析定数一覧(ケース1:水深2m)

土質	レベル (m)	動的変形特性							液状化特性								
		N値	$\gamma(\gamma')$ (tf/m ³)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	ν	G_u (tf/m ²)	K_u (tf/m ²)	ϕ_t (°)	h_{max} (%)	FC (%)	ϕ_o (°)	w_l	p_1	p_2	c_1	S_1
砂質土	-2.0~-5.0	14	2.0(1.0)	230	1830	0.33	10796	28154	35	30	16	28	21.8	0.5	0.65	1.0	0.005
	-5.0~-10.0	8	2.0(1.0)	160	1780		5224	13623	35	30	5	28	9.5	0.5	1.19	1.0	0.005
	-10.0~-20.0	4	2.0(1.0)	166	1786		5624	14667	35	30	13	28	11.5	0.5	1.19	1.0	0.005
	-20.0~-30.0	3	2.0(1.0)	118	1718		2842	7411	35	30	40	28	17.0	0.5	1.01	1.0	0.005
基盤岩	-30.0~	50	—	420	1890	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表3 動的応答解析結果

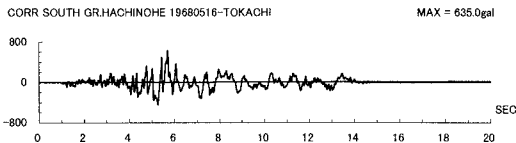
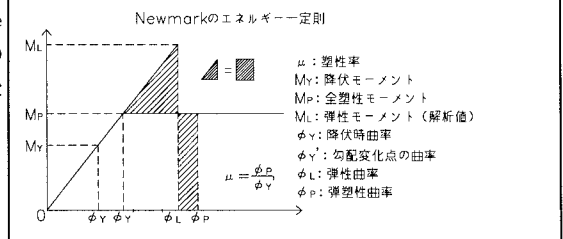


図4 入力地震波の時刻歴波形

ケース	部材	最大加速度 A _{max} (gal)	最大変位 δ_{max} (cm)	塑性率 μ	
				解析値	制限値
ケース1 (水深2m)	上部工(FM)	304	63	3.1	4
	鋼管杭			2.4	
ケース2 (水深30m)	上部工(FM)	239	77	3.6	—(M ₀ 以下)
	鋼管杭			1.5	
	上部レグ			—(M ₀ 以下)	
	下部レグ			1.8	
	上部水平材			—(M ₀ 以下)	
下部水平材	1.8				
	斜材			1.4	

参考文献 1) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成元年2月。2) 例えば、井合、松元、亀岡: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, 港湾技術研究所報告、第29巻、第4号、1990年12月。3) 運輸省港湾局: 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その2)、通達、平成9年8月28日。4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説、平成8年12月。



注) 最大加速度および最大変位の値は、上部工天端での応答値である。