

鋼管杭式栈橋への各種耐震補強工法の適用性に関する地震応答解析

ポートコンサルタント(株) 正会員 ○内藤 輝

ポートコンサルタント(株) 正会員 石田 誠

早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. はじめに 平成19年度に改訂された「港湾の施設の技術上の基準」では、耐震強化岸壁は、レベル2地震動に対して動的解析により耐震性能照査を行うことになっている。ここでは構造物の耐荷力と変形量を照査する。鋼管杭式栈橋は過去の被災例から鋼管杭の座屈と過度の変形が問題となっている。今回鋼管杭式栈橋の代表的な耐震補強工法の補強効果を把握することを目的としてFLIPによる動的応答計算を実施した。

2. 解析条件 鋼管杭式栈橋モデル¹⁾及び地盤条件を図-1、入力地震動を図-2に示す。鋼管杭式栈橋は軟弱な粘土層地盤に設置されており兵庫県南部地震で被災した事例である。入力地震動はレベル2地震動を想定している。なお、動的解析は二次元有効応力解析プログラムFLIPを用いた。杭と地盤の相互作用は、地盤のすり抜け効果を考慮した杭-地盤相互作用ばね²⁾を使用した。また、栈橋本体と土留部間には渡版が設置されており、水平相対変位20cmよりも縮まる方向に変位した場合、栈橋に圧縮力が伝達するバイリニア型の非線形ばねを設定した。耐震補強工法としては、表-1に示す5種類の工法に対して検討した。なお、表中の栈橋の離岸化とは、動的変形量を考慮して栈橋本体を土留部より通常より離して設置したものである。

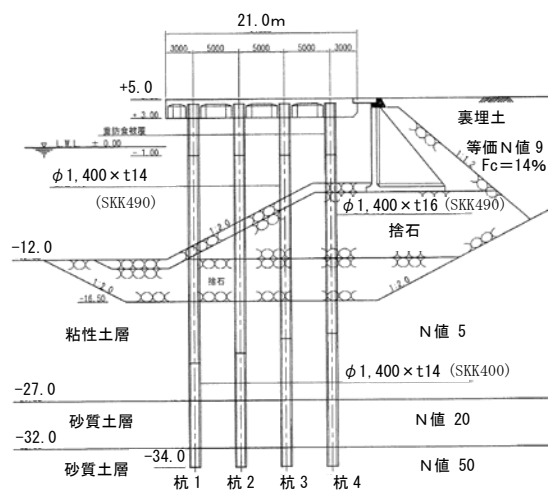


図-1 解析モデル及び地盤条件

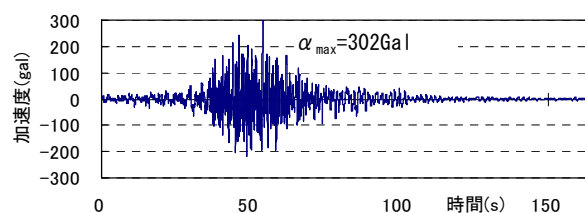


図-2 入力地震動(加速度時刻歴)

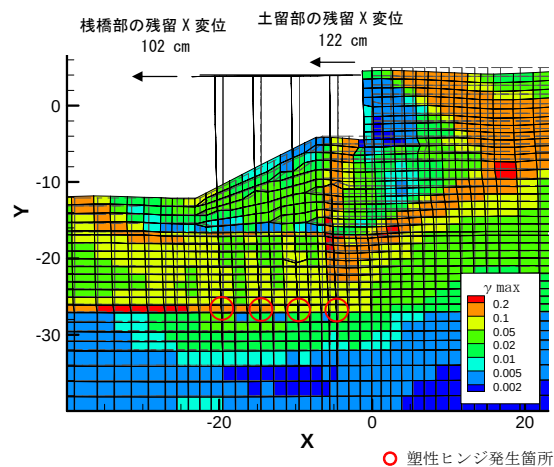
表-1 耐震補強工法

ケース	工 法	概 要
Case1	スラット工法	海中部にトラス部材追加
Case2	斜杭増打ち工法	杭4列目に30度で支持層まで斜杭を増設
Case3	グラウトアンカー工法	杭4列目から護岸側に45度で支持層まで設置
Case4	地盤改良	深層混合処理工法
Case5	栈橋の離岸化	栈橋を護岸から5m離岸化

3. 現況断面の解析結果 図-3に現況断面の解析結果を示す。

図に示すとおり、-27mの粘性土と砂質土の土層境界付近の全杭で塑性ヒンジが発生している。地盤の最大せん断ひずみ γ_{max} も、この境界付近に0.1~0.2程度のせん断ひずみが発生しており、この粘土層の前面への移動によりによって杭の塑性化が生じたものと考えられる。栈橋部の残留水平変位は102cm、土留部は122cmとなった。これは、土留護岸が裏埋土の液状化の発生によって大きく海側に変位して、渡版を介して栈橋上部工を海側に押し出したことによって生じたものである。この結果この施設は継続的な使用が不可能となり再構築された。

これらの結果を踏まえ、表-1に示す耐震補強工法に対して動的解析を実施し、その補強効果について評価した。

図-3 現況断面の最大せん断ひずみ γ_{max}

キーワード 鋼管杭式栈橋, 耐震性能, 耐震補強, 動的地震応答計算

連絡先 〒113-0021 東京都文京区本駒込 5-4-7 ポートコンサルタント(株) 技術部 TEL 03-5978-3377

4. 耐震補強対策の解析結果 表-2 に耐震補強

対策の解析結果を示す。表に示すとおり、地盤改良・斜杭増打ち工法の対策効果が大きい結果となった。特に、斜杭増打ち工法は、残留水平変位が50cm、杭の全塑性化は4列目杭に1箇所のみ発生する結果となった。図-3 に斜杭増打ち工法の最大せん断ひずみ γ_{max} の分布図を示す。図に示すとおり、斜杭の増し打ちにより、現況断面の γ_{max} と比べ全体的に小さな値となっていることがわかる。特に、-27mの土層境界付近の γ_{max} は、0.05程度と小さな値となり、杭の全塑性化が抑制されたものである。また、斜杭によって土留め護岸が栈橋上部工を海側に押し出す現象も改善されており、栈橋部の残留水平変位が小さくなった。図-4 に鋼管杭の塑性率(ϕ_{max}/ϕ_p)を示す。図より、今回選定したストラット工法・グラントアンカー工法・栈橋の離岸化は、塑性率の低減効果が小さいことがわかる。これは、これらの工法は、土中部の杭の塑性化や土中部の地盤変形を直接抑制する効果が小さいためである。

表-2 耐震補強対策の解析結果

ケース	工 法	残留水平 変位 (m)	塑性率 (ϕ_{max}/ϕ_p)				
			杭 1	杭 2	杭 3	杭 4	斜杭
—	現況断面	-1.02	8.2	4.5	6.1	9.0	—
Case1	ストラット工法	-0.89	6.7	3.5	4.6	7.8	—
Case2	斜杭増打ち工法	-0.50	0.8	0.9	0.95	2.0	0.7
Case3	グラントアンカー工法	-0.80	6.7	3.6	4.7	7.5	—
Case4	地盤改良	-0.78	0.9	0.7	2.3	5.0	—
Case5	栈橋の離岸化	-0.89	6.8	3.4	4.5	5.6	—

注) 残留水平変位: +が陸側, -が海側の変位を示す。

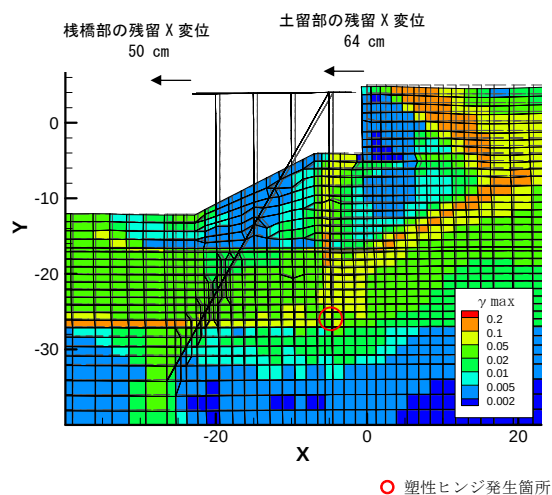


図-3 Case2 の最大せん断ひずみ γ_{max}

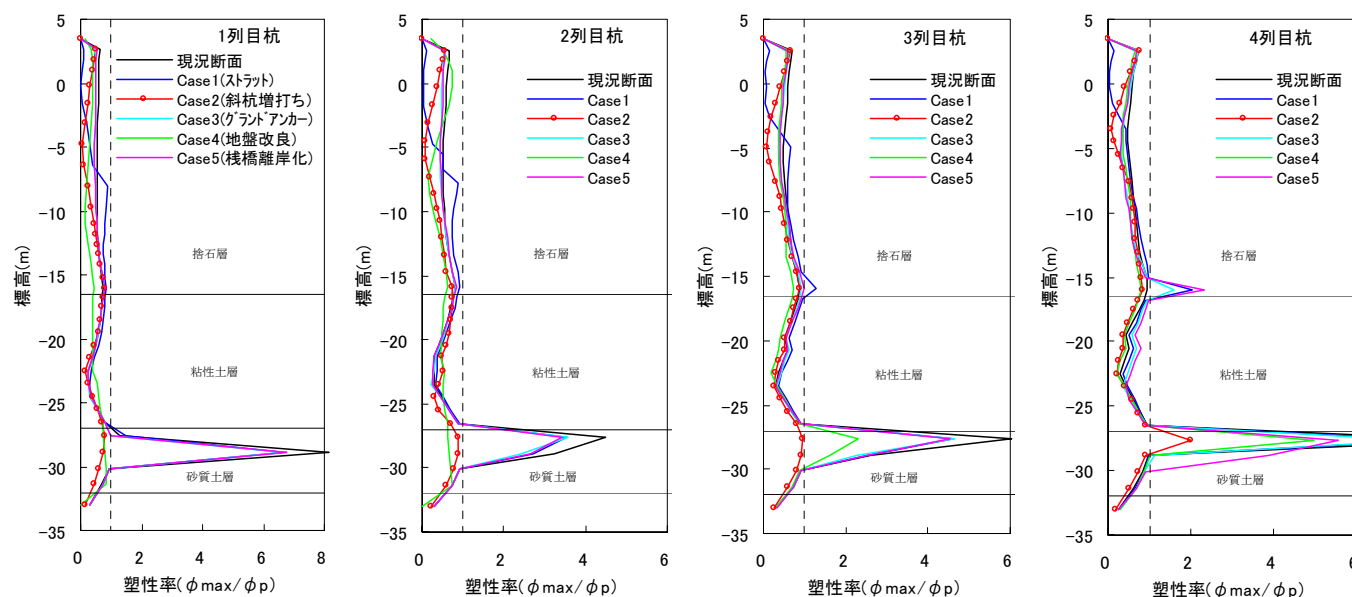


図-4 鋼管杭の塑性率(ϕ_{max}/ϕ_p)の比較

5. まとめ 耐震強化岸壁の杭式栈橋では、レベル1地震に対して決定した断面ではレベル2地震に対応できず、動的地震応答解析で構造物の諸元が設定される場合が多い。直杭式栈橋では護岸部の軟弱地盤の移動により杭式栈橋の耐震性能を満足できない場合があり、今回選定した各種耐震対策工法のなかで地盤改良工法と斜杭増打ちの栈橋が耐震性能を満足していた。今後更に構造的検討を進めていく予定である。

参考文献 1) 社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼管杭—その設計と施工—, 平成21年4月, 2) 小堤・溜・岡・井合・梅木: 2次元解析における杭—液状化地盤の動的相互作用のモデル化, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003