

I - B379 棧橋式係船岸の地震による破壊機構の把握と補強工法

若築建設土木本部設計部 正会員 清水由貴夫¹⁾
早稲田大学理工学部土木工学科 正会員 清宮 理

1. はじめに

兵庫県南部地震によって数多くの港湾構造物が被害を受け、その中の棧橋式係船岸は地震後の調査によって、陸側杭の海底地盤面付近で局部座屈や沖積粘土層で断面変形が確認された。これら破壊の過程と原因を把握するとともにプレス材やコンクリート充填による補強効果を調べるため地震応答解析を実施した。

2. 解析モデルと解析条件

解析に用いた棧橋式係船岸の構造図を図-1に示す。地盤構成はポートアイランド地震計設置の際に行われた土質調査を基に設定した。これら地盤定数を表-1に示す。解析には等価線形化法を用いた地震応答計算プログラム FLUSH を使用した。計算モデルの側方境界はエネルギー伝達境界、底面は剛体基盤とし、地震波は剛体基盤に入力した。入力した地震波は神戸ポートアイランド-79m 地点の洪積層で観測された南北成分波であり、最大加速度は 679gal である。解析ケースは現状の構造とプレス材を用いる工法、コンクリート充填する工法の3種類とした。これら解析ケースの概略を図-3に示す。解析周波数は 10Hz 未満とし、それによってメッシュ分割を行った。解析メッシュの全節点数は解析ケースに関係なく 546 個、要素数は現状の構造とコンクリート充填する工法で 494 要素、プレス材を用いる工法で 496 要素とした。

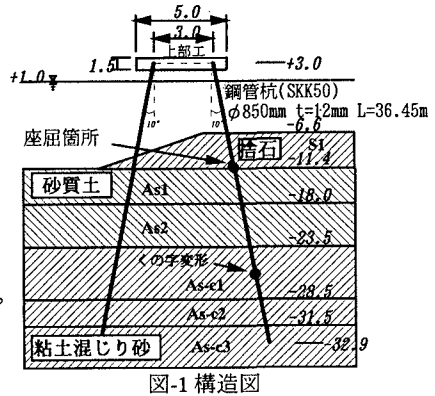


表-1 地盤定数

種類	標高 (m)	γ_w (tf/m ³)	ポアソン比	Vs (m/s)
埋土	+3.0~-6.6	1.90	0.49	210
捨石	-6.6~-11.4	1.96	0.38	150
砂質土	-11.4~-18.0	2.00	0.49	210
砂質土	-18.0~-23.5	1.90	0.49	210
粘土混じり砂	-23.5~-28.5	1.80	0.49	245
粘土混じり砂	-28.5~-31.5	1.80	0.49	305
粘土混じり砂	-31.5~-45.5	2.00	0.49	305
粘土混じり砂	-45.5~-55.5	2.00	0.49	305
洪積粘土	-55.5~-72.0	1.70	0.49	305
ケーソン	+3.0~-6.6	2.10	0.17	2449
裏込め石	+1.0~-6.6	1.96	0.38	127

3. 解析結果

各ケースの最大水平変位発生時刻における合成応力と水平変位の深度分布を図-4に示す。被害を受けた現状の構造において、軸・曲げを考慮した合成応力は両杭通じて陸側杭の海底地盤面付近で最大となり、座屈や断面変形のおそれがある結果となった。さらに、陸側杭の杭頭~杭先端にかけての合成応力が海側杭のそれを上回る結果となった。海側水平変位については陸側杭の標高-4.2m付近で最大17.65cmとなった。これらの結果は調査報告とほぼ一致し、被害の現状が良く再現できていると思われる。また、海側・陸側杭の海底地盤面付近において大きな合成応力が発生したことから、砂および捨石の側方移動に伴う荷重が杭に作用したと推測できる。プレス材を用いる工法の合成応力は陸側杭の海底地盤面付近で最大となり、現状の構造に比べ約2割低下した。海側最大水平変位は陸側杭の標高-6.6m付近で16.54cmとなり、現状の構造に比べ減少した。よって、プレス材を用いる工法は補強効果があるといえる。また、コンクリート充

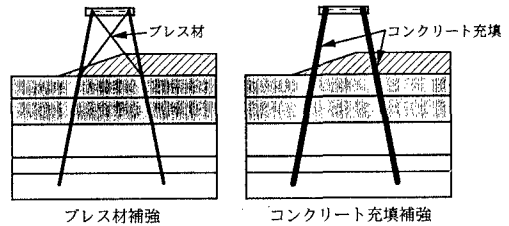


図-3 解析ケース

各ケースの最大水平変位発生時刻における合成応力と水平変位の深度分布を図-4に示す。被害を受けた現状の構造において、軸・曲げを考慮した合成応力は両杭通じて陸側杭の海底地盤面付近で最大となり、座屈や断面変形のおそれがある結果となった。さらに、陸側杭の杭頭~杭先端にかけての合成応力が海側杭のそれを上回る結果となった。海側水平変位については陸側杭の標高-4.2m付近で最大17.65cmとなった。これらの結果は調査報告とほぼ一致し、被害の現状が良く再現できていると思われる。また、海側・陸側杭の海底地盤面付近において大きな合成応力が発生したことから、砂および捨石の側方移動に伴う荷重が杭に作用したと推測できる。プレス材を用いる工法の合成応力は陸側杭の海底地盤面付近で最大となり、現状の構造に比べ約2割低下した。海側最大水平変位は陸側杭の標高-6.6m付近で16.54cmとなり、現状の構造に比べ減少した。よって、プレス材を用いる工法は補強効果があるといえる。また、コンクリート充

キーワード : 棧橋式係船岸, 地震応答解析

¹⁾ 東京都目黒区下目黒 2-23-18 ・ TEL:03-3492-0495 ・ FAX:03-5487-3867

填する工法においても陸側杭の海底地盤面付近における合成応力は現状の構造に比べ約4割低下した。海側最大水平変位は陸側杭の標高-4.2m付近で16.91cmとなり、これも現状の構造に比べ減少した。よって、コンクリートを充填する工法はプレス材を用いる工法よりさらに補強効果があるといえる。

次に、現状の構造で大きな合成応力を示した海側杭頭部と陸側海底地盤面付近における各ケースの軸応力と曲げ応力の履歴を図-5に示す。横軸は軸応力をオイラーの座屈応力で除した値を、縦軸は曲げ応力を曲げ降伏応力で除した値をそれぞれ表示している。軸応力と曲げ応力の相関関係（境界線）は式1)により設定した。

$$\frac{N}{N_0} + \frac{M}{M_y} \leq 1 \quad 1)$$

N : 軸応力

M : 曲げ応力

N_0 : オイラー座屈応力 (=1400kgf/cm²)

M_y : 曲げ応力 (=3200kgf/cm²)

現状の構造は海側杭の杭頭部と陸側杭の海底地盤面付近で境界線を越え、海側杭の杭頭部は履歴線が縦軸方向に伸びていることから曲げ応力が軸応力より卓越しているといえ、陸側杭の海底地盤面付近は履歴線が横軸の45度方向に伸びていることから軸応力・曲げ応力両方の影響を受けているといえる。プレス材を用いる工法は、海側杭の杭頭部で軸応力・曲げ応力とも現状の構造に比べ大きく低下し、陸側杭の海底地盤面付近は曲げ応力が低下した。また、境界線を越えている部分がかなり減少したことからプレス材を用いる工法の補強効果はあるといえる。コンクリート充填する工法も海側杭の杭頭部と陸側杭の海底地盤面付近で軸応力・曲げ応力とも現状の構造に比べ大きく低下し、陸側杭の海底地盤面付近で境界線を越えている部分がほぼないことから、プレス材を用いる工法より補強効果があるといえる。

4. まとめ

(1) 地震後の調査による栈橋式係船岸の座屈位置と本解析がほぼ一致した。座屈破壊の原因としては、地盤の側方移動による影響が大きいことも判明した。

(2) 陸側杭の海底地盤面付近の合成応力は、プレス材で補強することにより約2割、コンクリートを充填することにより約4割低下した。何れの工法も杭の局部座屈に対して効果的な補強工法であるといえる。

[参考文献]

- 1) 成瀬泰雄：鋼管構造、森北出版、1971年 2) 柴田明徳：最新 耐震構造解析、森北出版、1981年 3) 稲富隆昌・清宮理・山田耕一郎・宮島信雄・平野昌治：平成7年度兵庫県南部地震でのポートアイランドの表層地盤の振動特性、

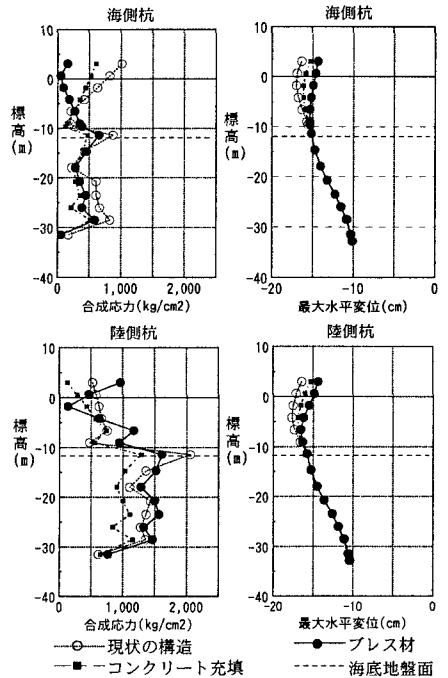


図-4 合成応力と水平変位の深度分布

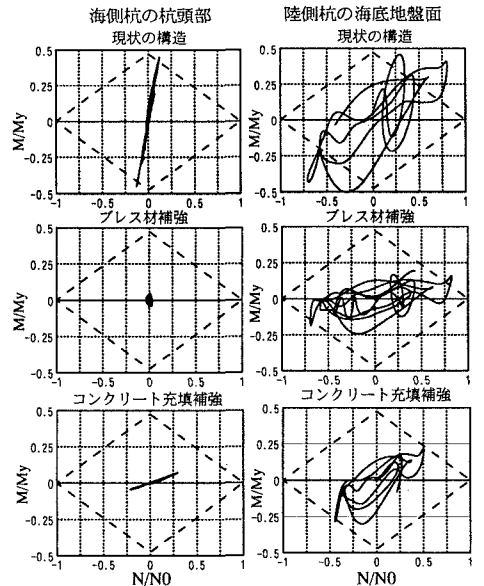


図-5 軸応力と曲げ応力の履歴