

断層変位と地震動の両方の影響を受ける防潮堤杭基礎の設計法

東北電力（株） 正会員 ○岩館 礼 正会員 山口 和英 佐藤 達也
 （株）大林組 正会員 永井 秀樹 正会員 佐々木智大 正会員 堤内 隆広

1. はじめに

津波防潮堤のような線状に連続した構造物に対して、鋼管杭基礎を適用するケースで、支持層が岩盤で断層が存在するような場合には、津波による影響だけでなく、断層変位による影響および同時に作用する地震動の影響を考慮することが求められる。本稿では、これら重畳現象に対する簡便な設計法の提案を行うとともに、二次元有限要素法にて構造物と地盤の連成解析を実施し、鋼管杭基礎に対する影響について検討した結果を示す。重畳で考慮する作用とその

順序について、表 1 に整理する。なお、今回の解析では「Case1-1 の断層変位+地震動（本震）」の影響を考慮したケースのみを取り上げた。

表 1 重畳で考慮する作用とその順序

ケース	作用する荷重順序			
	0	⇒ 1	⇒ 2	⇒ 3
Case1-1	自重+ 風+積雪	断層変位	地震動（本震）	津波波力+漂流物
Case1-2		地震動（本震）	断層変位	津波波力+漂流物
Case2-1		断層変位	地震動（本震）	余震（慣性力+動水圧）+津波波力
Case2-2		地震動（本震）	断層変位	余震（慣性力+動水圧）+津波波力

2. 簡便な設計法の提案

検討対象の防潮堤は、図 1 に示すように、1 ブロックとして下部工の鋼管杭 4×2 本に対して地上部の RC 防潮壁で津波波力を受ける構造である。

断層線と鋼管杭の位置関係は、ケース A～C の 3 種類を想定した。ケース A は約 45° の滑り線を想定し、その滑り線が杭頭部に係らない位置まで離れた位置とした。ケース C は基礎直下の位置とし、ケース B は A と C の中間とした。なお、本報文の後半では、代表してケース A の位置による解析結果を示す。

構造物平面図と津波荷重方向、断層線方向の関係を図 2 に示す。重畳現象として考慮すべき主な作用荷重とその方向に対して、鋼管杭の許容応力度と発生応力度の関係を図 3 に示す。地震動による作用は、全方向からの作用が考えられるため、発生応力度が原点を基準とした同心円となる。津波波力による作用は、津波方向のみからの作用であり、ここでは x 軸方向の発生応力度となる。断層変位による作用は、断層線に直行する方向の発生応力度となる。これらを足し合わせたのが、最下欄のひし型の赤線であり、この発生応力度が許容応力度以内になることを確認することになる。なお、各現象で個別の解析を行い、その結果を足し合わせることであれば、簡便な設計手法となる。

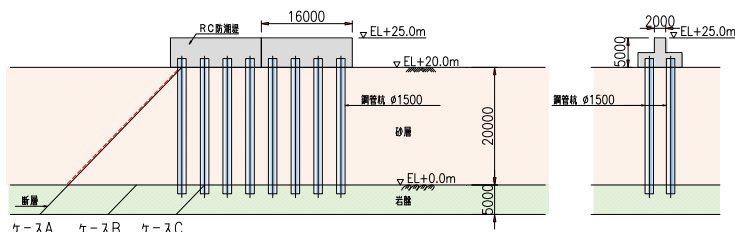


図 1 対象構造物（津波防潮堤）

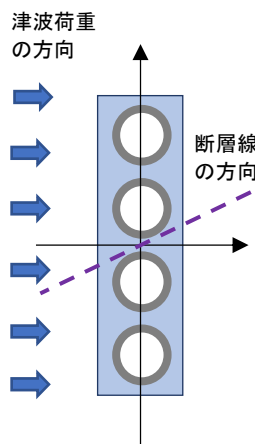


図 2 構造物平面と荷重方向

照査項目		発生応力度&許容応力度
各現象に対する照査	地震の照査	許容応力度 発生応力度
	津波の照査	
	断層変位の照査	断層線の方向 許容応力度割増
重畳現象の照査		合成応力度

図 3 作用方向と発生応力度の関係

キーワード 津波防潮堤、断層変位、地震応答解析、重畳現象、設計法

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町 1-7-1 TEL 022-799-6103

3. 解析条件およびモデル

二次元有限要素法にて構造物と地盤の連成解析を実施した。支持層の岩盤は弾性体とし、表層地盤は砂質地盤($\phi=38^\circ$)とし、その地盤構成則として下負荷面モデルを適用した。鋼管杭および地上 RC 防潮壁は、弾性体とし、構造物と地盤の間には接触要素を設け、滑り・剥離を考慮した。解析モデルおよびその境界条件を図4に示す。

4. 解析結果

断層変位 200mm を与えた後に、地震動（最大水平加速度 355gal，熊本地震）を与える解析を実施した。解析結果として地盤の主せん断歪分布および鋼管杭の最大曲げ応力度を図5に示す。断層変位の結果では、断層線が離れた位置であるにもかかわらず、鋼管杭に与える影響は大きく、許容応力度に対する照査値は約 0.39 となった。地震応答解析は、応答震度法による静的解析および時刻歴による動的解析の2ケースを実施した。全ケースで許容応力度以内となり、応答震度法

（水平：一方向）で照査値最大の約 0.96 となった。これは、断層変位によって生じた地盤歪に対して、断層線のすべり線付近で一方向の場合に歪が集中し、最左杭の杭頭部で大きな曲げモーメント（図6の赤破線）が発生したためである。時刻歴解析では、 $t=3.61s$ で照査値最大（約 0.74）となるものの、応答震度法よりも小さく、安全側の結果となった。

5. おわりに

各現象を個別に解析し、その結果の断面力を足し合わせた場合と、断層変位を与えた後に地震応答を与えた重畳解析の断面力の結果の比較を、図6に示す。両者は概ね一致し、僅かに重畳解析の方が最大曲げモーメントで大きな値を示した。この結果より簡便な設計法として各現象による解析を個別に実施し、断面力の結果を足し合わせるという方法で安全側の設計が可能であることが分かった。なお、実設計では、三次元解析による照査を実施し、上記による設計の検証・照査を行う必要があると考える。

断層を横切る防潮堤等の線状構造物は、断層線上を横切ることを避けられない。今後、このような構造物に対して、どのような構造的対応および設計法が適切であるかなど、引き続き検討していく必要があると考える。

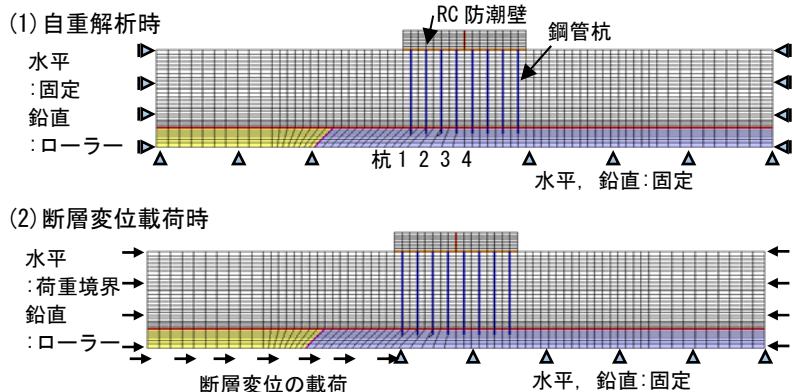


図4 解析モデルと境界条件

	地盤主せん断歪	鋼管杭の最大曲げ応力度
断層変位 200mm		$\sigma_{dmax}=150N/mm^2$ $\sigma_a=382.5N/mm^2$ (許容応力) $\sigma_{dmax}/\sigma_a=0.39$
応答震度法		$\sigma_{dmax}=367N/mm^2$ $\sigma_{dmax}/\sigma_a=0.96$
時刻歴解析 $t=3.61s$		$\sigma_{dmax}=281N/mm^2$ $\sigma_{dmax}/\sigma_a=0.74$

図5 解析結果（地盤歪と鋼管杭の照査結果）

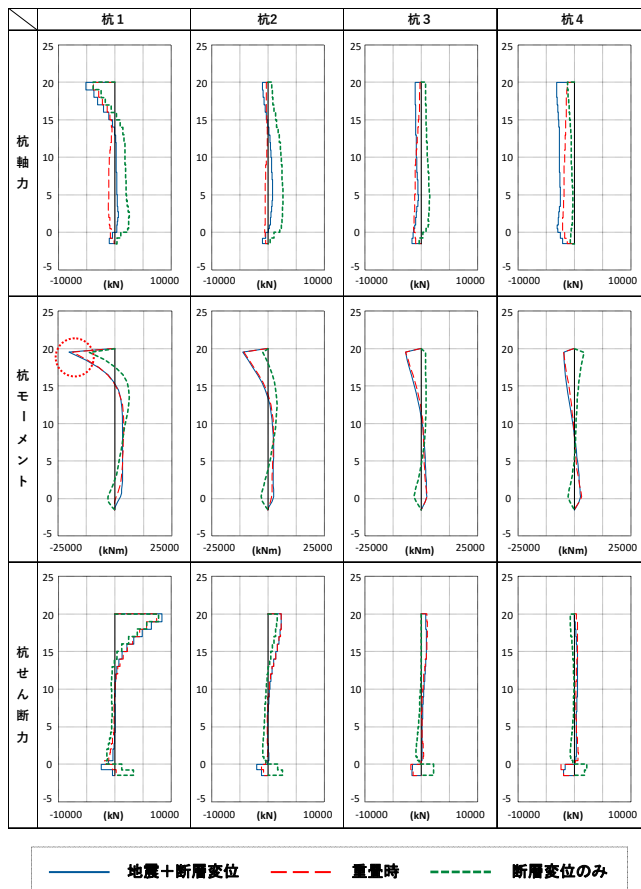


図6 断面力比較（重畳解析，各現象の結果合計）