

重力式岸壁・護岸の変形量と 地震動の周波数特性に関する一考察

野津 厚¹・上部達生²

¹正会員 工修 運輸省港湾技術研究所構造部 (〒239横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 工博 運輸省港湾技術研究所構造部 (〒239横須賀市長瀬3-1-1)

本研究では地震動の周波数特性と重力式岸壁・護岸の変形量との関係について数値解析による検討を行った。変形量の予測はいわゆるレベル2地震動に対して行われることが普通であるから、ここでは比較的規模の大きな地震が港湾の近傍で発生するという条件を考え、Booreの統計的シミュレーション法により地震波形を生成した。用いた数値計算手法は地盤を完全弾塑性体としてモデル化した比較的簡便なFEMである。種々のパラメトリックスタディーの結果、比較的規模の大きな地震が港湾の近傍で発生するといった条件の下では、3Hz以下の比較的低い周波数成分の重力式岸壁・護岸の変形への寄与が大きいという結果が得られた。

Key Words : frequency, ω^{-2} model, gravity-type, quaywall, revetment, residual displacement, numerical analysis

1. はじめに

想定される地震動に対して岸壁・護岸の変形量を予測することは重要である。地震動の特性と重力式岸壁の変形量の関係について過去の被災事例により調べたところ、変形量は地震動の加速度振幅と必ずしも対応せず、むしろ速度振幅との対応が良いとの指摘もある¹⁾。このことから、地震動の高周波成分は重力式岸壁の変形に寄与しにくいことが推察される。本研究では、岸壁の変形量と地震動の周波数特性との関係について、数値解析による検討を行った。

2. 検討手法

岸壁・護岸の変形量予測はいわゆるレベル2地震動に対して実施されることが普通である。そこで、ここでは比較的規模の大きな地震が港湾の近傍で発生するとの条件で検討を行うこととした。具体的にはM7、震源距離10kmの地震を考えた。このような条件の下での平均的な地震動を生成するため、ここではBooreによる統計的シミュレーション法²⁾を用いた。この方法は、地震の規模と震源距離に応じて与えられる目標フーリエスペクトルを平均的に満足す

るような時刻歴を生成するもので、目標スペクトルとしては高周波遮断周波数をもつ ω^{-2} モデルが採用されている。波形生成のためのパラメタは、Booreが北米西海岸の強震観測記録と整合するように選択したものをそのまま用いた。

図-1 (a) にM=7、震源距離10kmに対応する目標スペクトルを示す(破線)。ここでは、目標スペクトルに適合する加速度波形を10本生成した。図-2 (a)、(b) に生成された波形の例を示す。図-1 (a) に同じ波形のフーリエスペクトルを示す(実線)。また、生成された波形のスペクトルの平均(スペクトルの自乗の算術平均の平方根)を目標スペクトルとともに図-1 (b) に示す。

検討対象施設としては、兵庫県南部地震で被災したポートアイランド西側のコンテナ岸壁を選んだ。図-3に本施設の位置を、図-4に本施設の標準断面図を示す。解析には、港湾技術研究所で開発されたFEMコードBEADⅢを用いた。地盤を完全弾塑性体としてモデル化し、全応力解析を行っている。破壊基準としてはモール・クーロンの破壊基準を用いた。モデル化の詳細は文献3)を参照されたい。このモデルに上述の波形を順次入力して岸壁の変形量を算出した。また、これらの波形から高周波数成分を削除した波形を作成して、同様に変形量の算出を行い、

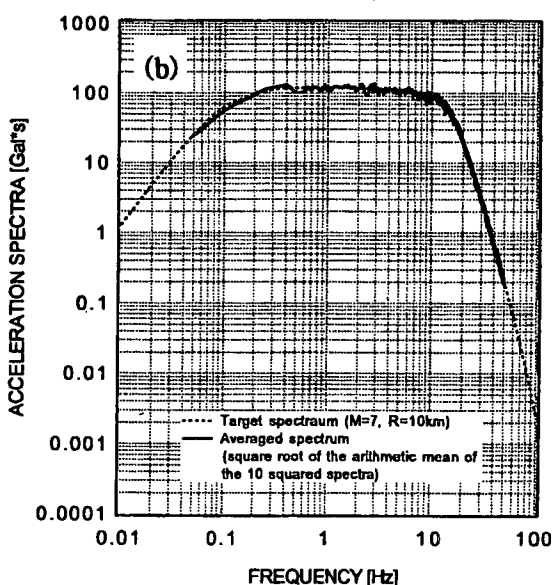
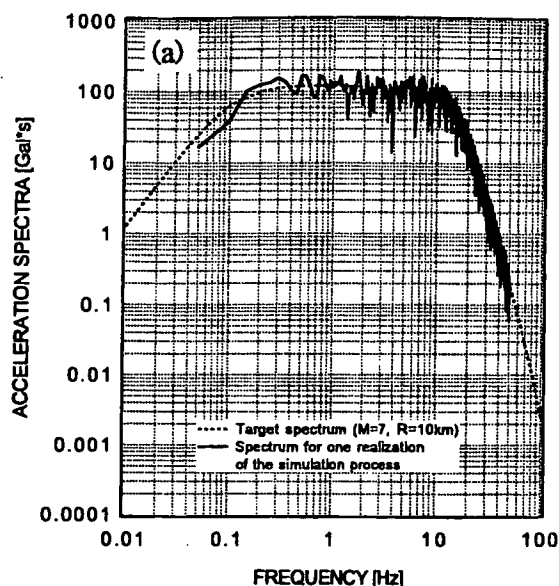


図-1 Boore²⁾による平均的なスペクトル
(a) 生成されたスペクトルの一例（実線）と目標スペクトル（破線）
(b) 生成されたスペクトルの平均（実線）と目標スペクトル（破線）

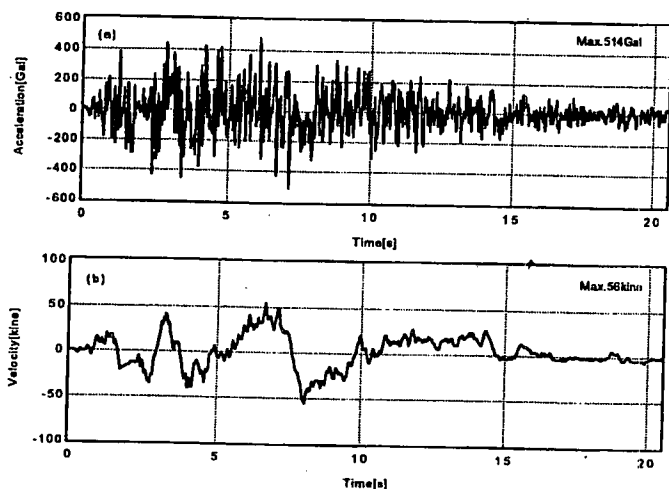


図-2 生成された時刻歴波形 (a) 加速度波形 (b) 速度波形

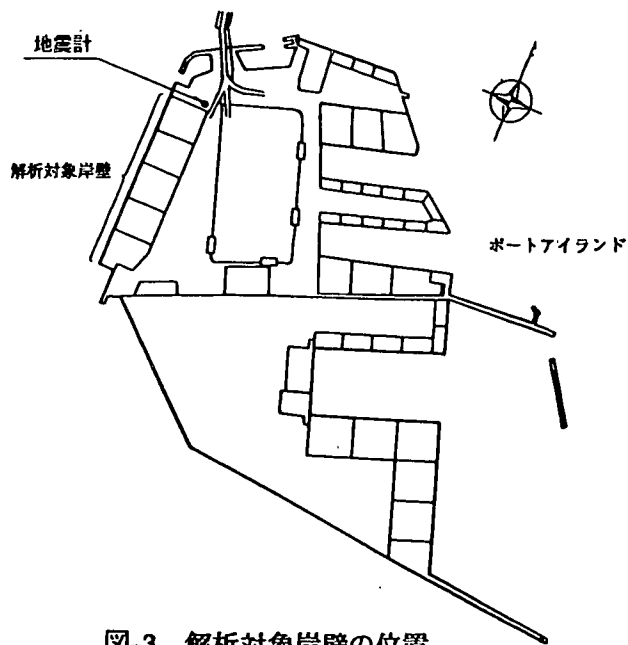


図-3 解析対象岸壁の位置

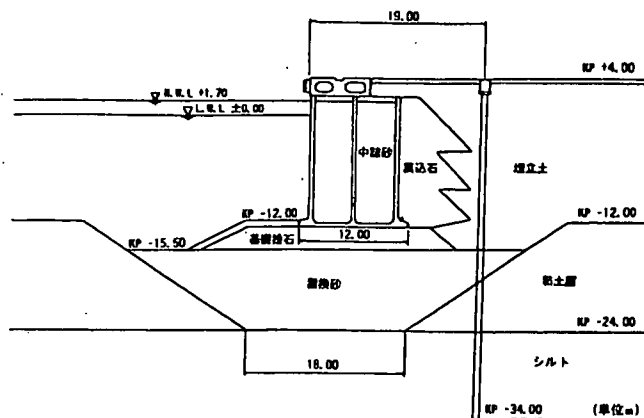


図-4 解析対象岸壁の標準断面図

その結果から、岸壁の変形に寄与する周波数帯域について考察した。高周波成分を削除するときのカットオフ周波数は1Hz、2Hz、3Hz、4Hz、5Hzの5通りとした。地震動の入力は基盤面への2E波とした。

3. 検討結果と考察

図-2に示した波形に対して計算を実施した結果を図-5～図-7に示す。岸壁の最終変形形態は、堤体が前面にはらみだし、かつ前方に傾斜するというものであり、兵庫県南部地震で見られた典型的な重力式岸壁の被災形態と整合するものとなっている。また、マウンド内の土要素のせん断応力～せん断ひずみ関係およびマウンド下のジョイント要素のせん断応力～変位関係から、地盤内ではせん断変形が、ジョイント要素では滑動が生じていることがわかる。

次に、法線はらみだし量と天端沈下量の残留値を

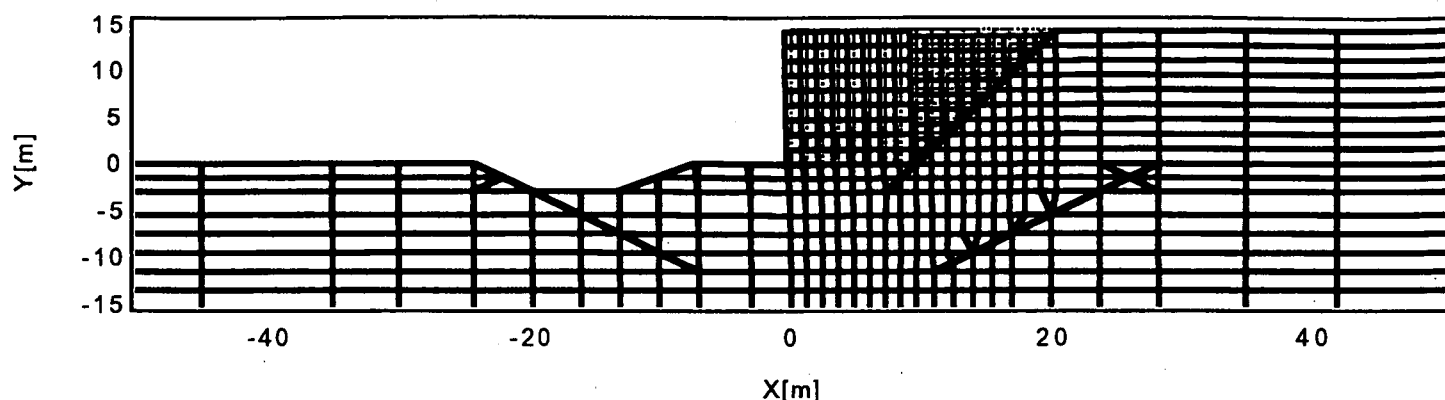


図-5 最終変形図

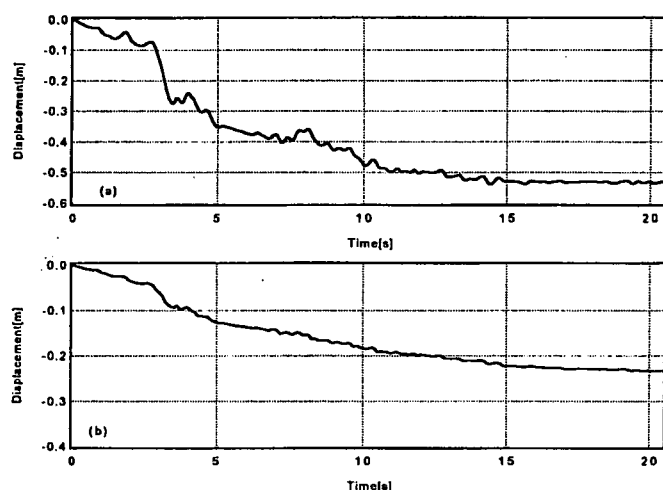


図-6 変形の時刻歴 (a) 法線はらみだし量 (b) 天端沈下量

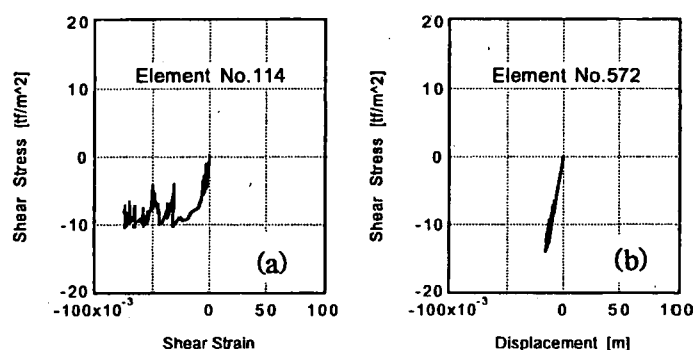


図-7 (a) マウンド内の土要素のせん断応力～せん断ひずみ関係
(b) マウンド下のジョイント要素のせん断応力～変位関係

カットオフ周波数に対して図示したものが図-8である。同図の●印で互いに直線で結ばれたものは、原波形が共通でカットオフ周波数の異なる計算値である。この結果から、次のような点が指摘できる。

- 1) カットオフ周波数が低いほど変形量は小さい。
 - 2) 原波形の相違による変形量の相違は小さい
- 次に、図-9は、図-8に示された変形量を原波形（高

周波成分を削除しない波形）入力時の変形量で除して正規化したものである。同図からカットオフ周波数3Hzでは、変形量はほぼ原波形入力時の9割以上であることがわかる。このことから、本解析において、3Hz以上の高周波成分の岸壁の変形への寄与は非常に小さいと言える。

以上のような結果が得られた第一の要因は、本解析においてM7、震源距離10kmといった条件を設定したために、シュミレーションで得られた波形に長周期成分が多く含まれており、これが岸壁の変形に大きく寄与したということが考えられる。一方、得られた結果の一因として構造物側の要因も考えられる。図-10は原波形入力時のケーソン天端の水平加速度の、入力加速度に対するスペクトル比を示したものであるが、スペクトル比は約4Hz以上の帯域において急激に落ち込んでいる。これはケーソンが剛体として挙動するために生じる入力損失であると考えられる。このような構造物側の特性が、「高周波成分が変形に寄与しない」という結果の一因となっている可能性もあるので、ここで得られた結果が規模や形態の異なる岸壁等に適用されるかどうかについては慎重な検討を要すると思われる。

4. 結論

本研究では地震動の周波数特性と重力式岸壁・護岸の変形量との関係について数値解析による検討を行った。変形量の予測はいわゆるレベル2地震動に対して行われることが普通であるから、ここでは比較的規模の大きな地震が港湾の近傍で発生するという条件設定を行い、Booreの統計的シュミレーション法により地震波形を生成した。用いた数値計算手法は地盤を完全弾塑性体としてモデル化したFEMである。パラメトリックスタディーの結果、3Hz以上

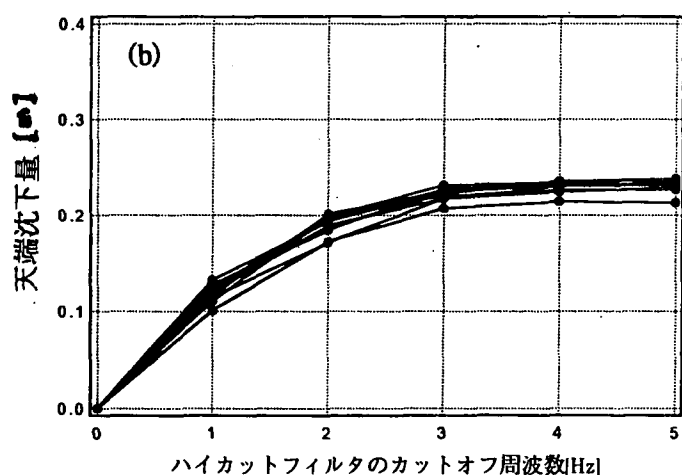
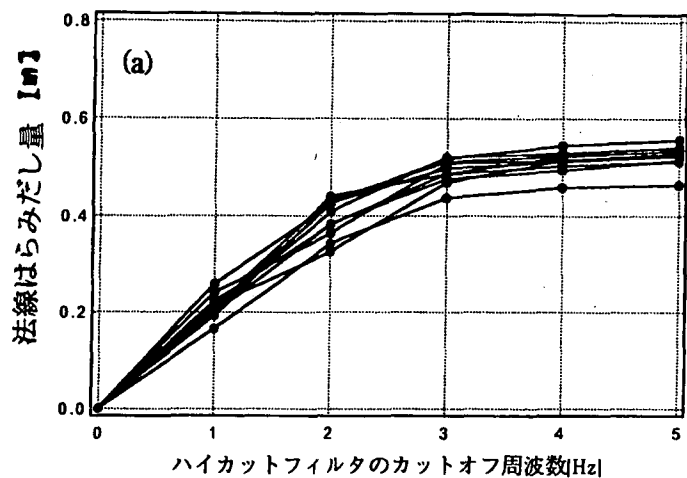


図-8 高周波カット後の変形量とカットオフ周波数 (a) 法線はらみだし量 (b) 天端沈下量

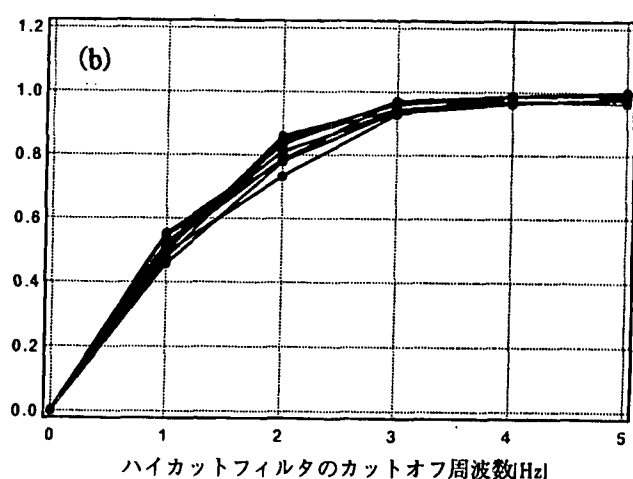
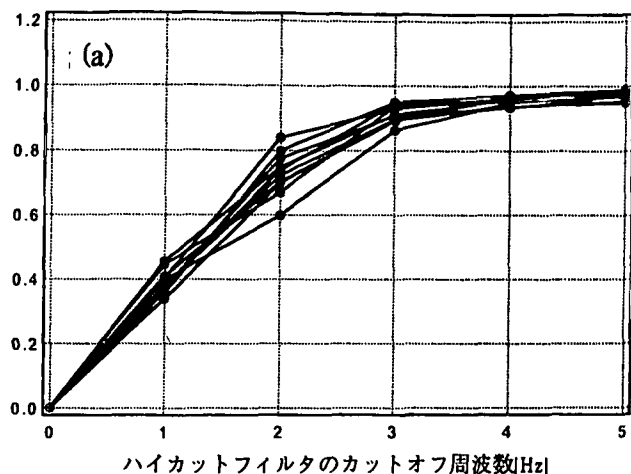


図-9 高周波カット後の変形量の原波形入力時の変形量に対する比 (a) 法線はらみだし量 (b) 天端沈下量

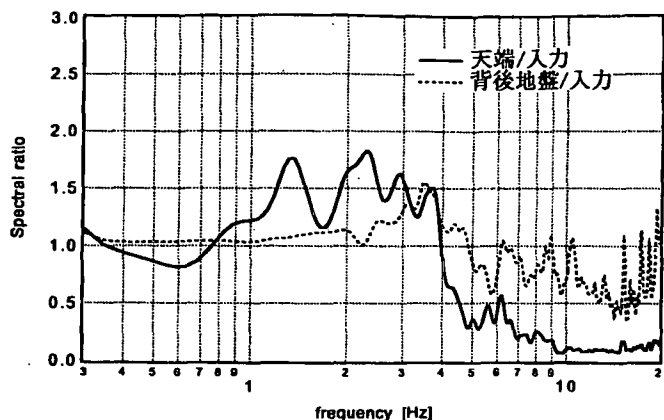


図-10 入力加速度に対するスペクトル比 (a) 天端の水平加速度 (b) 背後地盤表面の水平加速度

の比較的高い周波数成分の重力式岸壁・護岸の変形への寄与は小さいという結果が得られた。

本検討では、 $M=7$ の地震が港湾から10kmの地点で発生するという条件で検討を実施したが、検討結果をさらに一般化するためには、地震の規模がより小さい場合や震源距離が大きい場合についても検討していく必要があろう。地震の規模がより小さい場合

にはスペクトルの重心が高周波数側にシフトするので、3Hzより高い周波数成分の変形への寄与が相対的には大きくなることが予想される。

参考文献

- 1) 宮田正史、野津厚、菅野高広、井合進：港湾地域で得られた既往大地震記録の比較とケーソン式岸壁の被災程度に関する一考察、阪神淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996年1月
- 2) Boore, D. M. : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.73, No.6, pp.1865-1894, 1983
- 3) 野津厚、上部達生、高野剛光：ケーソン式岸壁の地震時滑動に関する数値解析、兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（その8）、港湾技研資料、No.813、1995年9月