

# レベル1地震動に対する重力式岸壁の残留変形量に関する信頼性指標の簡易評価法

株式会社エコー 構造・設計部 正会員 安田 将人  
 国土技術政策総合研究所 港湾施設研究室長 正会員 長尾 毅

## 1. はじめに

港湾基準<sup>1)</sup>におけるレベル1地震動は確率的ハザード解析によって得られる一様ハザードスペクトルをもとにした時刻歴波形であり確率的な作用であることから、照査方法も確率論に基づいた信頼性設計法によるべきであり、長尾ら<sup>2)</sup>は1次近似2次モーメント法(以下FOSMと記す)により数回の2次元地震応答解析(以下2次元解析と記す)で重力式及び矢板式護岸の残留変形量に関する信頼性指標を評価している。本研究は、重力式岸壁の残留変形量に関する信頼性指標をFOSMで評価するにあたり、確率変数の平均( $\mu$ )に対する残留変形量を2次元解析により求め、確率変数の平均 $\pm$ 標準偏差( $\mu \pm \sigma$ )に対する残留変形量を1次元地震応答解析(以下1次元解析と記す)の地盤のせん断変形量から推定した結果を報告するものである。なお、確率変数は地盤のS波速度の推定誤差を取り扱うこととし、その確率分布形状は既往の研究<sup>2)</sup>と同様とする。

## 2. 検討条件

本研究では、重力式岸壁を対象に水深、震度、地盤条件の異なる10断面を設定した。地盤条件は砂質地盤を対象に地盤のS波速度を $\mu$ として設定したうえで、ImaiによるN値とS波速度のデータから沖積砂質土のN値によるS波速度換算値と実測値の比が、標準偏差0.29(対数正規分布で0.05)、確率分布は対数正規確率分布に従うものとして<sup>2)</sup> $\mu \pm \sigma$ のS波速度の地盤モデルを設定し、 $\mu$ 及び $\mu \pm \sigma$ を対象に2次元解析を行った。解析コードは港湾構造物への適用性が確認されているFLIPを用いた。入力地震動は、全国の港湾で設定されているレベル1地震動から、最大加速度及び卓越周波数の異なる10波を選定しており、地震応答解析では地盤が液状化しないことを前提とした。

## 3. 残留変形量の推定

$\mu$ 及び $\mu \pm \sigma$ の条件について2次元解析を実施し、残留変形量を図-1に示す壁体傾斜量、マウンド変形量、地盤変形量に分けて整理することで、各変形量が残留変

形量に与える影響を確認した。図-2に変形量と地盤の固有周期 $T_g$ の関係を示す。なお、多層地盤の $T_g$ は各層内での波動伝播時間の和として式(1)で簡易に評価する。

$$T_g = \sum \frac{4H_i}{V_{S_i}} \quad (1)$$

ここで、 $V_{S_i}$ :地盤のS波速度、 $H_i$ : $i$ 層における層厚である。図中の直線は $\mu$ 及び $\mu \pm \sigma$ での残留変形量について最小自乗法による回帰分析を行った結果であり、残留変形量の3点とほぼ一致していることから直線近似が可能である。これは既往の研究同様、重力式岸壁の信頼性指標の評価にFOSMが適用可能であることを示すもので、後述するようにこの直線の勾配が限界状態関数の勾配 $|\partial g / \partial T_g|$ である。また、残留変形量に対して地盤変形量の影響が大きいことが確認できる。地震動の作用による重力式岸壁の変形は、壁体下の地盤のせん断変形の影響が大きいことが多いことから、本研究では地盤のせん断変形量を1次元解析で推定することにより、残留変形量を推定することとした。

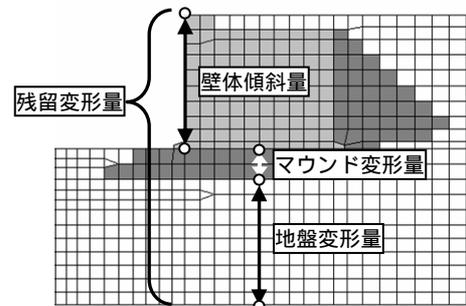


図-1 残留変形量と各変形量

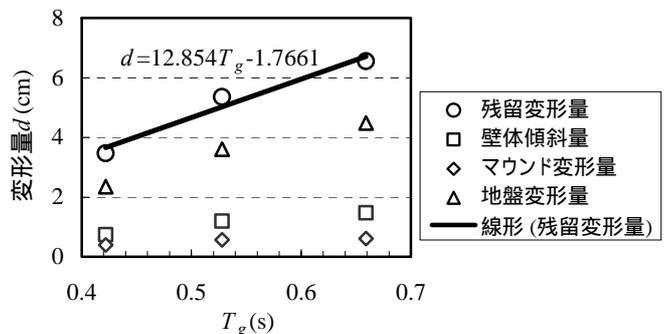


図-2 地盤の固有周期と変形量

キーワード 信頼性指標, 1次近似2次モーメント法, 重力式岸壁, レベル1地震動, 残留変形量

連絡先 〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4 TEL03-5828-2186 FAX03-5828-2177

なお、せん断変形量  $\delta_s$  は地盤の各要素のせん断ひずみ  $\gamma_{xy}$  (加振後の残留せん断ひずみと自重解析後の初期せん断ひずみの差) と要素高さ  $\Delta y$  の積を鉛直方向で合算したものとし、式(2)のように表わす。

$$\delta_s = \sum (\gamma_{xy} \cdot \Delta y) \quad (2)$$

地盤の変形挙動は初期応力状態の違いにより大きく異なる。2次元解析  $\mu$  と  $\mu \pm \sigma$  の壁体下地盤の初期応力状態では大きな差がないことから、 $\mu \pm \sigma$  の1次元解析では2次元解析  $\mu$  の初期応力状態と等しくする。1次元解析で求めたせん断変形量  $\delta_{s\_est}$  により式(3)により推定した残留変形量を図-3に示す。1次元解析による推定残留変形量  $d_{est\_mu\pm\sigma}$  は、2次元解析による残留変形量に対して -2.9 ~ 4.2cm (-76 ~ 55%) の誤差を生じる。

$$d_{est\_mu\pm\sigma} = d_{-\mu} \cdot \delta_{s\_est\_mu\pm\sigma} / \delta_{s\_est\_-\mu} \quad (3)$$

#### 4. 信頼性指標の評価

FOSMによる信頼性指標  $\beta$  は式(4)により算出される。なお、FOSMの特徴は、確率分布を不問にして簡易に信頼性指標を評価する点であり、性能関数が線形の場合にはFOSMによる信頼性指標は誤差を有さない。

$$\beta = \frac{\mu(g)}{\sigma(g)} = \frac{d_a - d_{-\mu}}{|\partial g / \partial T_g| \sigma_{T_g}} \quad (4)$$

ここに、 $d_a$ : 変形量許容値(供用の観点から一つの目安として30cmと設定)、 $|\partial g / \partial T_g|$ :  $T_g$  の変化に伴う限界状態関数の勾配、 $\sigma_{T_g}$ :  $T_g$  の標準偏差である。2次元解析3回の残留変形量により評価した信頼性指標(以下  $\beta-t$  と記す)と、 $\mu \pm \sigma$  についてせん断変形量から推定した残留変形量により評価した信頼性指標(以下  $\beta-e1$  と記す)と、既往の簡易評価法<sup>2)</sup>による信頼性指標(以下  $\beta-e0$  と記す)を比較する。 $\beta-e0$  は  $d_{-\mu}$  を  $\sigma_{T_g}$  で除した値と  $\beta-t$  での  $|\partial g / \partial T_g|$  の関係の最大勾配を設定し(式(5)中0.54)、 $d_{-\mu}$  と  $\sigma_{T_g}$  からこの勾配を推定して信頼性指標を式(5)で評価しており、信頼性指標を安全側に評価する。

$$\beta - e0 = \frac{d_a - d_{-\mu}}{0.54 \cdot d_{-\mu}} \quad (5)$$

図-4に  $\mu$  の残留変形量と信頼性指標の関係を示す。 $\beta-t$  は残留変形量が増加するにしたがい、双曲線的に減少していることが分かる。次に、 $\beta-e0$  と  $\beta-e1$  の信頼性指標の推定誤差を比較した結果を図-5に示す。 $\beta-e1$  はいくつかのケースで鉛直軸がマイナスとなり、 $\beta-t$  に比べ信頼性指標を危険側に評価する。ただし、これらのケースは残留変形量が10cm未満で  $\beta-t$  が5以上である。港湾構造物の代表的な構造物である防波堤では設計波

浪に対する目標信頼性指標の平均値が2.4である<sup>1)</sup>ことから、 $\beta-t$  が5以上の領域での推定誤差は大きな問題ではなく、一方残留変形量が10cm以上になるケースでは、 $\beta-e1$  は全てのケースで鉛直軸がプラスの領域にあり信頼性指標を安全側に評価する。また、多くのケースで  $\beta-e0$  に比べ  $\beta-e1$  が下側にプロットされており、本研究の方法は既往の簡易評価法に比べ、信頼性指標の評価精度が向上していることが確認できた。

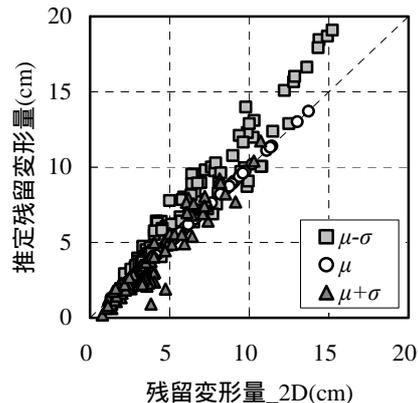


図-3 残留変形量の推定結果

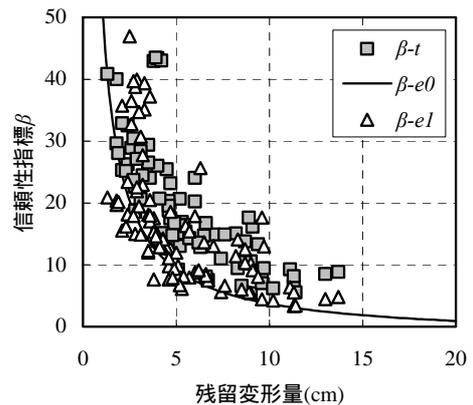


図-4 残留変形量と信頼性指標

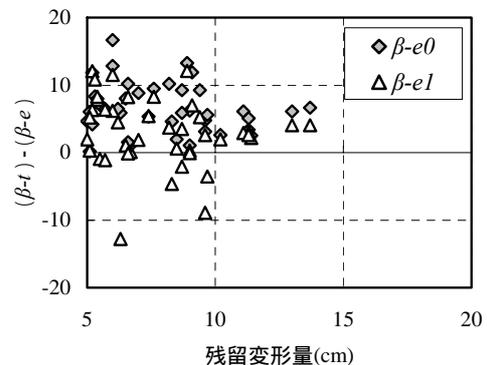


図-5 残留変形量と信頼性指標

#### 参考文献

- 1)国土交通省港湾局監修,(社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説,2007.
- 2)長尾 毅:岸壁の残留変形量に関する地震時信頼性指標の簡易評価法,構造工学論文集,Vol.53A,pp.351-359,2007.