

不確実性を有する荷重-構造系の信頼性評価における確率有限要素法の有用性

復建調査設計(株) 正会員○相田 亨

広島工業大学工学部 正会員 中山隆弘

1. まえがき

これまでも、確率有限要素法(Stochastic Finite Element Method)を用いて、土構造物の信頼設計の試みがなされている。¹⁾本研究では、線形一次近似理論に摂動法を適用した確率有限要素法²⁾を用いて、均質な砂質土に建設される控え壁式鋼矢板壁の応答の統計量の算定をするとともに、不確実な設計変数が応答のばらつきに及ぼす影響について考察することにより、矢板壁の信頼性評価を行う際の注意点について検討することを目的としている。また、この確率有限要素法の適用範囲の検討も行っている。なお、本研究で考慮した不確定要因は、鋼矢板とタイロッドの力学的諸量と、それらに比べてかなり大きいばらつきを有する地盤の諸係数の計9個である。

2. 解析内容

2.1 解析モデル

解析の対象としたモデルと鋼矢板に作用する土圧の状態を図-1に示す。³⁾また、解析で用いた確定的な設計変数と確率的な設計変数の記号と値をそれぞれ表-1、表-2に示す。

2.2 応答の統計量の評価

表-1、表-2に示す数値を用いて摂動法によるS F E Mで応答の統計量の評価を行った。ただし、各確率変数は、互いに独立な正規確率変数とした。

2.3 各設計変数の応答のばらつきに及ぼす影響の検討

確率変数とした各設計変数の応答のばらつきに及ぼす影響は、寄与度より検討した。寄与度は式(1)で求めた。

$$\Delta \sigma_i = \sigma_i' / \sigma \times 100 (\%) \quad (i=1 \sim 9) \quad (1)$$

ここに、

σ : 確率変数のすべてのばらつきを考慮した場合の応答の標準偏差

σ' : ひとつの確率変数のみにばらつきを考慮した場合の応答の標準偏差

なお式(1)における標準偏差 σ_i' は、感度 $\partial f / \partial \alpha_i$ とばらつきの大きさによって決まる量である。ここに、 f は矢板壁の応答関数、 α_i は設計変数である。

3. 解析結果

図-2、図-3に鋼矢板に生じる曲げモーメントの統計量を示す。この図より、S F E M解とシミュレーション解(sim)は、ほとんど一致していることが分かる。なお、SONY NWS-5000VIによる両演算時間を比較すると、前者は、わずか0.8秒であるのに対し、後者は試行回数1000回で154.4秒であり、S F E Mの方がはるかに演算効率が高い結果が得られた。

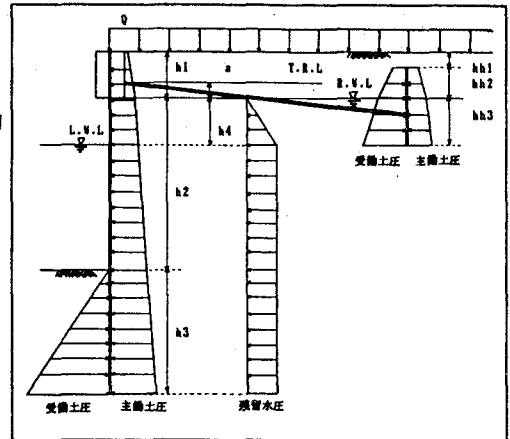


図-1 控え壁式鋼矢板壁

表-1 確定変数

確定変数	記号(単位)	確定値
地表面から地下水位面までの距離	h1(m)	2.5
地下水位面から海底面までの距離	h2(m)	10.0
海底面から鋼矢板根入れ端までの距離	h3(m)	8.5
地下水位面から海面までの距離	h4(m)	0.5
タイロッド取り付け点から地下水位面までの距離	a(m)	0.5

表-2 確率変数

確率変数	記号(単位)	平均値	c.o.v
1) 鋼矢板、タイロッドのヤング係数	$E(t/m^2)$	2.1×10^7	0.01
2) 鋼矢板の断面2次モーメント	$I(m^4)$	0.000495	0.01
3) タイロッドのパネ定数	$Kt(tf/m)$	2283.0	0.01
4) 地盤反力係数	$Kh(tf/m^2)$	2000.0	0.2
5) 土の単位体積重量	$\gamma(tf/m^3)$	3.0	0.1
6) 土の内部摩擦角	ϕ (度)	40.0	0.15
7) 水中の見かけの土の単位体積重量	$\gamma'(tf/m^3)$	1.0	0.15
8) 土の内部摩擦角	ϕ (度)	40.0	0.15
9) 土の壁面摩擦角	δ (度)	20.0	0.15

次に、表-3には各パラメータの最大曲げモーメントのばらつきに対する寄与度を示す。表-3より、最大曲げモーメントに最も影響を及ぼすパラメータは、土の内部摩擦角 ϕ であることが理解できる。さらに図-4に最大曲げモーメントに対する感度と変数のばらつきとの関係をコンター図で示している。この図は縦軸(y)に基準化した感度を、横軸(x)に設計変数の変動係数を取り、この2つの量より決まる最大曲げモーメントの変動係数を等高線で表している。同図より、最大曲げモーメントの変動係数と各設計変数の変動係数と感度との関係がわかる。

図-4より、控え壁式鋼矢板壁の応答のばらつきに及ぼす主な不確定要因は、土の内部摩擦角 ϕ であると言える。これは、明らかに感度、変動係数の両方が大きかったためである。一方、土の壁面摩擦角 δ は、変動係数は大きい、感度が非常に低いためほとんど影響しないことが分かる。また、応答に対する感度が大きい場合、横軸の設計変数のばらつきの大きさの変化に対して、最大曲げモーメントのばらつきの変化は非常に敏感である。一方、感度が小さい場合は、応答のばらつきに、ほとんど影響を及ぼさないことが分かる。したがって、感度の大きい設計変数である場合、不十分なばらつきの統計データを用いて解析を行っても、その結果の信頼性は低いといわざるを得ない。

4. あとがき

今回の研究結果より、控え壁式鋼矢板の応答の統計量の評価を、摂動法による確率有限要素法で効率よく評価することができ、確率有限要素法の有用性の確認ができた。また、各不確定要因の応答のばらつきに対する影響の把握もできた。さらに信頼性解析を行う際に、変数のばらつきの統計データの収集が重要な設計変数が確認できた。

摂動法を用いた確率有限要素法の適用範囲は、変数のばらつきが大きい場合には適用不可能であるとされているが、今回の検討結果からは必ずしもそうとは限らないことが分かった。

＜参考文献＞ 1)辰巳 安良・鈴木善雄、確率有限要素法による護岸の信頼性設計の試み、土木学会論文集、pp.49-58、1986-12。 2)中桐 滋・久田俊明：確率有限要素法入門、培風館、pp.226-231、1985-5。 3)相田 清・中山 隆弘：現行基準で設計される控え壁式鋼矢板壁の構造信頼性について、土木学会代々44回年次学術講演会、pp.376-377、1989-10。

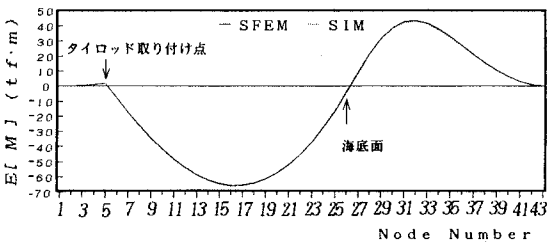


図-2 曲げモーメントの期待値

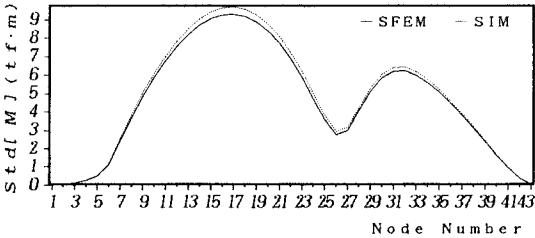


図-3 曲げモーメントの標準偏差

表-3 各パラメータの最大曲げモーメントに対する感度と寄与度

変数	c.o.v	$\partial V/\partial \alpha$	$\sigma' (tf \cdot m)$	寄与度 $\Delta \sigma (\%)$
1) E, I	0.01	-5.8347	0.0583	0.06
3) K_t	0.01	-0.4505	0.0045	0.05
4) K_h	0.2	6.2853	1.2571	13.56
5) q	0.1	-7.7810	0.7781	8.40
6) γ	0.1	-12.2630	1.2263	13.23
7) γ'	0.15	-14.3210	2.1482	23.18
8) ϕ	0.15	58.7720	8.8158	95.11
9) δ	0.15	0.5450	0.0819	0.88

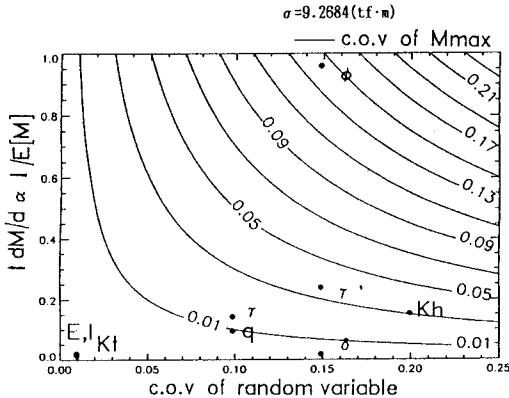


図-4 最大曲げモーメントに対する感度と変数のばらつきの影響