

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、線形一次近似理論による確率有限要素法（Stochastic Finite Element Method）を用いて、土構造物の不確実性を考慮した信頼性解析の試みがある。¹⁾また、中桐・久田²⁾は、逐次摂動法により簡単な骨組構造のAFOSM法における安全性指標の算定法を提案している。これに対して、本研究では摂動法を用いて、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評価、さらに信頼性解析を行った。また、各不確定要因の応答のばらつき、および安全性に及ぼす影響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SFEM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。また、各不確定要因の応答のばらつきに対する影響は、寄与度を式(1)で与え、検討を行った。

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

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

2.3 安全性指標の算定

今回考慮した破壊モード、および性能関数を表-3に示す。この各破壊モードに対して、AFOSM法を用いて安全性指標 β を求め、近似的に破壊確率を求めた。また、各不確定要因の安全性に及ぼす影響の検討は確率変数全てがばらつきを有する場合と、その中の1変数を確定量とした場合の安全性指標をそれぞれ求め、その変化率により影響の大小を評価した。 β の変化率は次式により求めた。

$$\Delta \beta_i = \left| \frac{\beta - \beta_i'}{\beta} \right| \times 100 (\%) \quad (i=1 \sim 9)^{4)} \quad (2)$$

β : 確率変数の全てのばらつきを考慮した場合の安全性指標
 β' : 着目する1つの確率変数のみを確定量とした場合の安全性指標

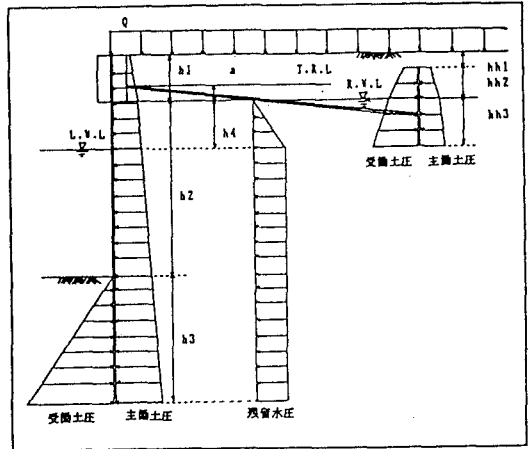


図-1 控え壁式鋼矢板壁

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
海底面から鋼矢板壁入れ端までの距離	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
曲げモーメントの抵抗値	MR(tf・m)	105.0
水平変位の抵抗値	UR(m)	0.2
タイロッドの引張力の抵抗値	TR(tf)	35.0

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) タイロッドのバネ定数	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	q(tf/m ²)	3.0	0.1
6) 土の単位体積重量	γ(tf/m ³)	1.80	0.1
7) 水中の見かけの土の単位体積重量	γ'(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

表-3 破壊モードの設定

破壊モード	性能関数
1 鋼矢板断面の曲げ破壊	Z=MR-Mmax
2 鋼矢板の水平変位	Z=UR-Umax
3 タイロッド断面の引張破壊	Z=TR-Tmax

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、SFEM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SFEMの方がはるかに演算効率がよい結果が得られた。また、表-4には、各不確定要因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-4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。

表-5に各破壊モードの破壊確率を示す。なお表中のSIMは、モンテカルロシミュレーション法による結果を意味する。これより、AFOSM法とモンテカルロ法より求めた破壊確率には多少差が見られるが、演算時間を比較するとSONY NWS-5000VIで前者の場合わずか21.6秒であるのに対し、後者の場合、試行回数10万回で約6時間もの演算時間を要した。摂動法を用いたAFOSM法の有用性は明らかであろう。また、表-6に、安全性指標の変化率 $\Delta\beta$ を示す。この表は β の変化率を大、中、小の3つに分類し各確率変数の影響がどのレベルにあるかを各破壊モード毎に求めたものである。この表より、どの破壊モードに対しても β の変化率が1%未満と小さく、 β 値にほとんど影響を与えない設計変数はE、I、Kt、 δ であり、逆にどの破壊モードに対しても変化率に10%以上の影響を与える変数が土の内部摩擦角 ϕ であることがわかる。また、破壊モードによって各設計変数の安全性に及ぼす影響の度合いが異なることも理解できる。

4. あとがき

本研究の結果より、控え壁式鋼矢板壁の応答の統計量、および安全性の評価を摂動法によるSFEMを用いて効率よく行うことができることを明らかにすることができた。また、各不確定要因の応答のばらつきや安全性に及ぼす影響、また支配的な要因の把握ができた。なお、今回は、主として解析法の妥当性の検討に目的を置いたため、各破壊モードの抵抗力については、 β がほぼ3になるような適当な確定値を使用した。今後の課題は、全ての確率変数について、より現実的な値や確率分布を適用し、実際の矢板壁の安全性レベルを評価し、それを実設計に活用することにあると考えている。

<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44回年次学術講演会、pp.376-377、1989-10. 4)堀口潤一・一樹好充・山本正明：土質データのばらつきと設計 5.実際の構造物への適用、土質工学会誌 土と基礎、pp.75-82、1987-8.

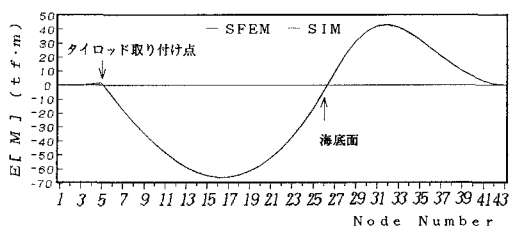


図-2 曲げモーメントの期待値

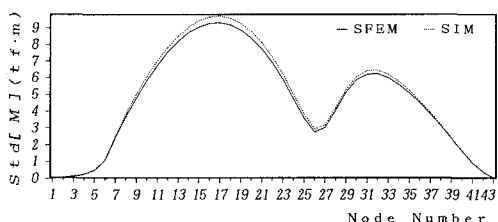


図-3 曲げモーメントの標準偏差

表-4 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	$\partial E[M]/\partial a$	$\sigma'(t \cdot f \cdot m)$	寄与度 $\Delta\sigma(\%)$
1) E, I	0.01	-5.8347	0.0583	0.06
3) Kt	0.01	-0.4505	0.0045	0.05
4) Kh	0.2	6.2853	1.2571	13.58
5) q	0.1	-7.7810	0.7781	8.40
6) γ	0.1	-12.2830	1.2283	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

$$\sigma = 9.2684(t \cdot f \cdot m)$$

表-5 各破壊モードにおける破壊確率

case	AFOSM法	SIM
1) 鋼矢板断面の曲げ破壊	6.35E-04	6.00E-04
2) 鋼矢板の水平変位	2.73E-03	2.85E-03
3) タイロッド断面引張破壊	1.82E-03	1.69E-03

表-6 β の変化率 $\Delta\beta$ の分類

破壊モード	β の変化率 $\Delta\beta$		
	大 $\Delta\beta > 10\%$	中 $10\% > \Delta\beta > 1\%$	小 $1\% > \Delta\beta$
1) 鋼矢板断面の曲げ破壊	ϕ	Kh, γ , γ'	E, I, Kt, q, δ
2) 鋼矢板の水平変位	ϕ	Kh, γ'	E, I, Kt, q, γ , δ
3) タイロッド断面の引張破壊	ϕ	q, γ , γ'	E, I, Kt, Kh, δ