

SVM による耐震強化岸壁の断面設定最適化に関する研究

パシフィックコンサルタンツ (株) 正会員 ○宮下 健一郎

1. 目的

港湾の施設の技術上の基準・同解説が改訂され、耐震強化岸壁の設計法が変更された。大きな変更点としては、レベル2地震動による作用の評価において、設計震度が取り除かれたことが挙げられる。このため、最適断面の決定までには様々な断面に対して2次元地震応答解析を行い、所要の耐震性能を満たす断面を抽出し、その中で最も経済的な断面を選定するといった作業が必要と考えられる。しかしながら、設計実務においては計算負荷の問題からレベル1地震動の作用で決定した断面を基準として、例えば地盤改良の幅や本体幅を変更し、レベル2地震動の作用に対して所要の性能を満足する断面が得られれば、そこで設計を終了するケースが多い。この場合、最も経済的な断面が選択されているとは必ずしも言うことができない。一方、サポートベクターマシン¹⁾ (SVM) はクラス分け問題の制約曲面を求める手法として近年注目されている。耐震岸壁の設計において、様々な断面の2次元地震応答解析結果をSVMにより耐震強化岸壁としての性能を満たす・満たさないでクラス分けした場合、得られる制約曲面は限界状態関数として捉えることができる。そして、この限界状態関数を建設コスト最小化を制約条件として解けば、効率的に最も経済的な断面を求めることができ、設計における作業量を減らすことができると考えられる。本研究は、幾つかの2次元地震応答解析結果をもとにSVMにより限界状態関数を求め、効率的な最適断面を算出方法について検討を行ったものである。また、他の手法による限界状態関数から得られた最適断面と比較を行い、SVMの有用性についても検討を行った。

2. SVMの概要

SVMとは多数のデータを2値にクラス分けする方法として開発された手法であり、図-1のように与えられたデータをクラスごとに分割する制約曲面を求めることができる。この時、この制約曲面の算出に影響及ぼしている最小のマーシンのデータをSV (サポートベクター) と呼ぶ。

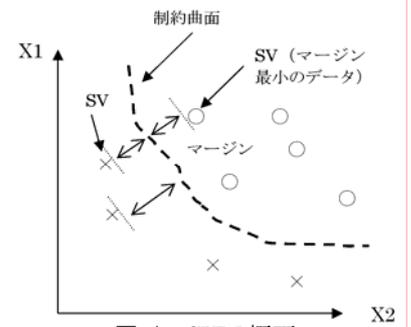


図-1 SVM概要

3. 最適断面

本研究における最適断面とは工事費最小の断面を意味し、式(1)を満たす断面である。耐震強化岸壁の設計においては、断面の照査を2次元地震応答解析にて行う必要があるため、式(1)bの限界状態関数を数式で表すことができない。そのため、最適断面算出には何らかの方法で式(1)bを近似的に求める必要がある。本研究ではSVMにより近似式を求める。本検討において限界状態関数は、式(2)に示すように許容変形量 R に対する残留変形量 S の差で表すこととする。ここで、 $Cost(x_i)$: 建設コスト関数、 x_i : コスト及び耐震性能に影響を与えるパラメータ、 $g(x_i)=0$: 限界状態関数である。

$$Cost(x_i) \rightarrow minimize \dots \dots \dots (1)a$$

$$Subject\ to\ g(x_i)=0 \dots \dots \dots (1)b$$

$$g(x_i)=R-S(x_i) \dots \dots \dots (2)$$

4. 検討条件

本検討では図-2に示す背後地盤が固化処理された水深14.5

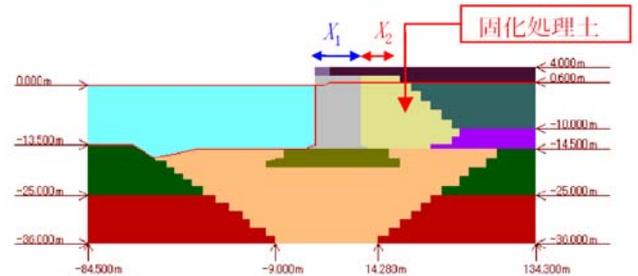


図-2 検討断面

表-1 地盤条件

土層区分	ρ (t/m^3)	G_{ms} (kN/m^2)	σ_{ms} (kN/m^2)	ν	C (kN/m^2)	ϕ (deg)	h_{max}	m_g
埋土	1.8 2	25920	89.8	0.33	0	37	0.24	0.5
原地盤 (粘性土)	1.6	36000	239.8	0.33	0	30	0.2	0.5
基礎捨石	2	180000	98	0.33	0	40	0.24	0.5
置換砂	1.8	74700	98	0.33	0	39	0.24	0.5
固化処理土	1.8	300000	0	0.33	50	30	0.2	0

液状化パラメータ(埋土)					
PHIP	S1	W1	P1	P2	C1
28.000	0.005	1.150	0.500	1.120	1.600

キーワード SVM, 耐震強化岸壁, 最適設計法

連絡先 〒206-8550 東京都多摩市関戸 1-7-5 パシフィックコンサルタンツ (株) 港湾部 TEL042-372-6180

m ケーソン岸壁の最適断面について検討を行う。地盤条件を表-1に示す。2次元解析には解析コードはFLIP718²⁾を用いる。最適断面算出時において考慮するパラメータはケーソン幅 x_1 と固化処理土の天端改良幅 x_2 とする。

5. 検討結果

表-2 各手法による最適断面

	ケーソン幅 x_1 (m)	固化処理土改良幅 x_2 (m)	工事費 (千円/m)
SVMによる最適断面	9.3	15.9	6210
一般的な設計法による断面	15.4	9.1	6747
重回帰分析による最適断面	11.8	13.5	6487

SVMにより求めた限界状態関数と2次元地震応答解析結果を図-3に示す。赤点線が限界状態関数、○でプロットしたデータは許容変形量以内で所要の性能を満足するケース、×でプロットしたデータは所要の性能を満足しないケースである。この結果、1回目のSVMにより得られた限界状態関数はSVまでのマージンが長く、限界状態関数の精度はあまり高いことが分かる。マージンを短くするようにデータを増やし再度SVMを行った結果を図-4に示す。この結果、☆の位置に示すこのデータ数での最適断面が得られたが、データを追加して再度SVMを行い、限界状態関数の精度を上げ、更なる断面の検討を行う。その過程を図-5~図-7に示す。赤プロットが追加データである。各図で限界状態関数の形状が変化し、データを追加する度に限界状態関数の精度が向上しているのが分かる。また、一般的な設計手法ではレベル1地震動の作用で決定した断面に対して、所要の性能を満足するまで本体幅や背後の固化処理土の範囲を拡げるといった手法が取られることが多いが、この一般的な設計法による断面を図-7の□に示す。2次元地震応答解析結果の残留変形量を重回帰分析により整理して最適断面を求める。最適断面算出までの過程を図-8~図-10に示す。各図において、限界状態関数はあまり変化せず、追加データの影響は小さかった。初期検討におけるデータ数である程度の精度を持った限界状態関数が得られていたと考えられる。しかしながら得られた限界状態関数は○と×を正確には分けておらず、SVMに比べて限界状態関数の精度が低いことが分かる。最適断面は図-10の☆の位置の断面である。各断面の比較を表-2に示す。SVMによる断面が最も経済的であることが分かる。重回帰分析による最適断面がSVMに比べて不経済となった理由は、重回帰分析による限界状態関数の精度がSVMに比べて低いことによると考えられる。しかしながら、一般的な設計手法による断面に比べると経済的な結果を得ることができていることと、SVMに比べて少ないデータ数である程度の精度を持った限界状態関数が得られていることから、設計実務における計算負荷を考慮すると、重回帰分析による最適断面算出法もある程度有効な手法であると考えられる。

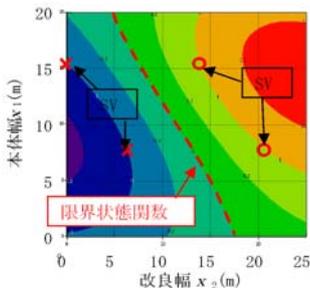


図-3 SVM その 1

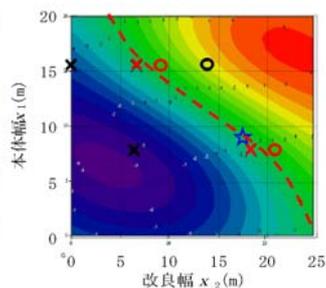


図-4 SVM その 2

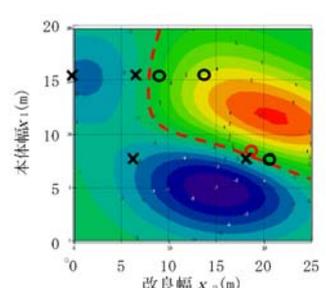


図-5 SVM その 3

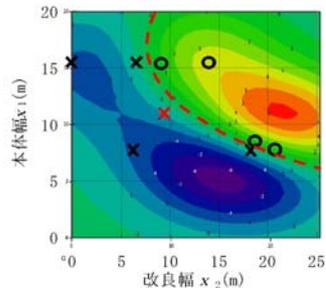


図-6 SVM その 4

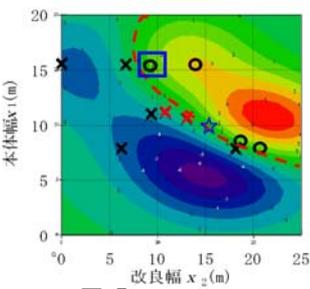


図-7 SVM その 5

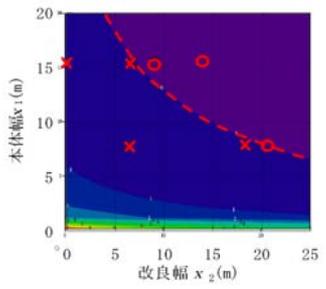


図-8 重回帰 その 1

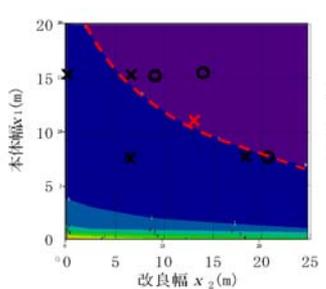


図-9 重回帰 その 2

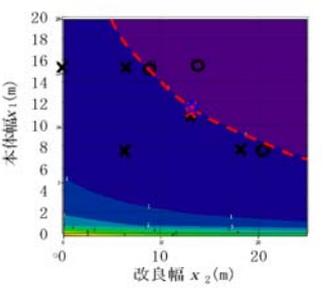


図-10 重回帰 その 3

参考文献

1) Cristianini N. and Shawe-Taylor J.: An Introduction to Support Vector Machines and other kernel-based learning methods, Cambridge University Press, 2000. 邦訳 大北剛: サポートベクターマシン入門, 共立出版, 2005
 2) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990