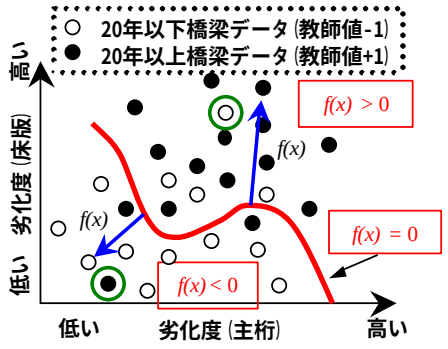
ＳＶＭによる橋梁健全度の総合評価とそれによる順位付けについて

北海学園大学　正会員　杉本　博之,　　北海学園大学大学院　学生員　○一間　恵伍
北武コンサルタント（株）　正会員　阿部　淳一,山口大学　フェロー会員　古川　浩平

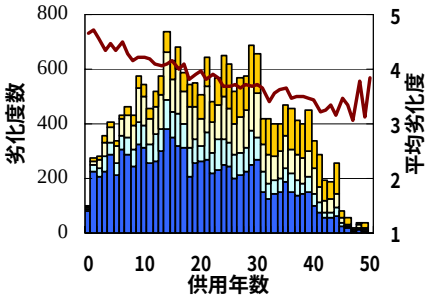
１．研究目的　橋梁の点検は遠望目視が基本であり，部材ごとに評価される．そのデータをもとにして部材の劣化曲線などが推定され，補修順位が定められる．場合によっては，劣化の進行が早い部材は要注意としてマークされ，次回の点検では慎重に見ることが要求される [1]．しかし，昨年発生したいくつかの橋梁の損傷あるいは落橋事例は，単に遠望目視の積み重ねだけでは，橋梁の安全性は保証されないことを示した.北海道においても,大きく報道はされていないが,床版の陥没事例が発生している．この橋梁も定期点検は正常に行われていたが，その間を縫うようにして起きた事故であった．といって，すべての橋梁の点検を近接目視に切り替えることは近年の財政状況では全く不可能である．やはり，現在の点検体制のもとで得られた部材レベルの情報から，橋梁の総合的な健全度を判定する技術の確立も必要ではないかと考えられる．

そこで本研究は，現在北海道で行われている目視点検結果から，各橋梁の総合的な健全度をサポートベクターマシン（Support Vector Machine，以下 SVM）により求めることを目的とした [2]．SVM は教師値を必要とする [3]．本研究の目的からは，点検データと例えば経験を積んだ技術者の総合的な健全度が必要であり，後者が教師値と定義される．しかし現在の点検体制下では教師値に該当するデータは存在しない．そこで，各橋梁の供用年数を教師値として用いることを試みた．つまり，7 部材の点検結果と構造の材料（鋼，コンクリート）を成分として，ある年数以上か以下かを教師値として解析を試みた．その結果，供用年数が多くても若い橋梁と判定される場合や，逆に供用年数が少なくても古い橋梁と判定される場合が得られた．後者の橋梁は総合的に劣化が早く進んでいることを意味する．また，各橋梁の識別面からの距離（F 値）は，補修，補強の順位付けにも参考になる．

２．北海道の橋梁における分析例　北海道の橋梁点検データは約 5000 橋存在し，その内部材を，主桁，副部材，床版，躯体，基礎，支承，および橋面工の 7 部材を選定し，コンクリート橋（C 橋）と鋼橋（S 橋）に分類した．その結果これらの点検データが全て揃っている 3050 橋を用いた．つまり 7 部材の点検データと構造材料種別の 8 成分とした．供用年数 k 年を境にして k 年以下橋梁（教師値 y_i=-1）と，k 年以上橋梁（教師値 y_i=+1）の 2 クラスの識別問題として学習させた．SVM による橋梁劣化の評価の概念を**図－1** に示す．簡単に説明するため 8 成分の内 2 成分を取り出して説明する．図中の赤線が分離面を示し，分離面より右上が識別関数 $f(x)$が正の領域，つまり 20 年以上橋梁と判定した橋梁であり，分離面から正側に離れるほど劣化している橋梁と考えられる．分離面より左下が識別関数 f(x)が負の領域，つまり 20 年以下橋梁と判定した橋梁であり，分離面から負側に離れるほど健全な橋梁と考えられる．中には図中の緑の○で囲った橋梁のように，逆判定されるデータ（橋梁）もある．20 年以下の橋梁が 20 年以上と判定された場合は，他の橋梁より劣化の進行度合いが早いと考えられる．また一方，20 年以上の橋梁が 20 年以下と判定された場合は，他の橋梁より劣化の進行度合いが遅いと考えられる．また，解析の結果得られるそれぞれの橋梁の F 値は識別面からの距離を表し，橋梁としての健全，あるいは劣化の程度を表していると考えることができ，順位付けに利用できる．



図－1　SVM による橋梁劣化の評価の概念図



図－2　供用年に対する劣化度数と平均劣化度推移

SVM の解析の前に，供用年数で並べた場合の劣化の程度を示す．**図－2** は，3050 橋の供用年数（横軸）と劣化度

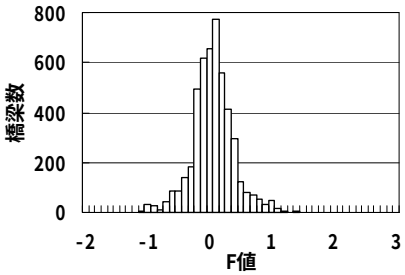
キーワード　サポートベクターマシン，識別関数，橋梁健全度，総合評価，順位付け
連絡先　　〒064-0926　札幌市中央区南 26 条西 11 丁目　　北海学園大学大学院　TEL(011)841-1161

数（縦軸左），および平均劣化度（縦軸右）の関係である．劣化度数とは，各供用年数に対応する橋梁群の部材評価の数を表している．■が 5 の評価の部材数，以下同様に，■が 4，■が 3，■が 2，■が 1 の評価の部材数である．平均劣化度の推移は，最大値で 4.7，最小値で 3 と供用年が経つにしたがって劣化している傾向が見られるが，傾きは比較的平坦でかつ平均値のばらつきが多くその傾向は顕著に現れていない．

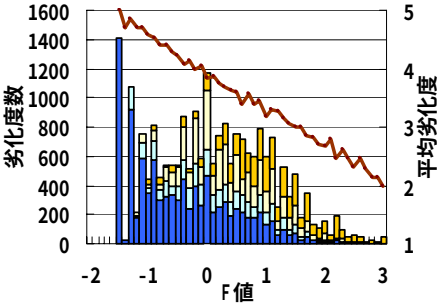
以下, SVM 解析の結果を示す. パラメータがいくつかあるが, ここでは r=3.0, 5.0，10.0 と C=10，100，1,000 を組み合わせた全 9 パターンの計算を行った．

まず逆判定の数であるが，上記の 9 パターンの計算の逆判定数はパラメータの組み合わせによって若干異なるが，856～959 であった．SVM 解析の結果は F 値で出力され，それは分離面（k 年）からの距離を表す．本研究の場合，F 値がプラス側に大きく逆判定されている橋梁の抽出が特に重要である. そのような橋梁の抽出結果のパラメータ依存性を調べたのが**図－3** である．**図－3** は 9 パターンどれか 1 つでも判定結果が異なった場合の F 値と橋梁数の関係を示す．9 パターンの F 値の範囲は-2.4～4.8 であるのに対し，異なる判定が起きた橋梁数は 540 橋と全橋梁の約 2 割あった．しかし，それらの F 値は 0 近傍に集中しており，境界面から大きく離れる場合は同じ判定結果が得られた．SVM はパラメータ依存性が若干あるが, 劣化が進行しているあるいは健全な橋梁の判定に関係なかったことは重要な結果である．

次にパラメータ r=10.0，C=10 の場合の結果を説明する．**図－4** は SVM を用いた計算結果を示し，F 値（横軸）により順位付けされた橋梁とその劣化度数（縦軸左），および平均劣化度（縦軸右）の関係である．平均劣化度の推移は，最大値で 5，最小値で 2 となった．F 値が大きくなるほど劣化し，F 値が小さいほど健全な傾向が見られ，**図－2** より勾配が急になり，かつ平均値のばらつきが少ない結果が見られた．詳細を検討するために，F 値によって順位付けをした点検データの上位 10 橋と F 値が 0 近傍の 10 橋そして下位 10 橋を**表－1** に示した．表には，左から F 値によって並べた順位，橋梁番号，7 部材の点検結果，構造材料，供用年数，20 年を境とした教師値，および SVM による解析結果の F 値を示してある．■は逆判定された橋梁である．例えば，**表－1** の橋梁番号 75 は供用年数が 26 年なのにもかかわらず，かなり健全と判断されたことを意味する．表は F 値の順に並べており，健全と判定された上位 10 橋は全ての部材の点検結果は 5 であり, 劣化したと判定された下位 10 橋は大半を点検結果 2 が占めており，おおむね良好な並びと考えられる．



図－3　パラメータ変更による判定結果の比較



図－4　F 値に対する劣化度数と平均劣化度推移

表－1　F 値によって順位付けをした点検データ

順位	NO.	主桁	副部材	床版	躯体	基礎	支承	橋面工	構造材料	供用年数	教師値 Y	F値
1	9	5	5	5	5	5	5	5	S	6	-1	-1.558
2	28	5	5	5	5	5	5	5	S	13	-1	-1.558
3	75	5	5	5	5	5	5	5	S	26	1	-1.558
4	87	5	5	5	5	5	5	5	S	28	1	-1.558
5	120	5	5	5	5	5	5	5	S	44	1	-1.558
6	326	5	5	5	5	5	5	5	S	1	-1	-1.558
7	331	5	5	5	5	5	5	5	S	3	-1	-1.558
8	335	5	5	5	5	5	5	5	S	4	-1	-1.558
9	380	5	5	5	5	5	5	5	S	21	1	-1.558
10	542	5	5	5	5	5	5	5	S	4	-1	-1.558
1544	2420	5	5	5	4	5	3	2	S	23	1	-0.009
1545	1360	2	4	2	3	5	5	4	C	33	1	-0.005
1546	1988	2	4	2	3	5	5	4	C	49	1	-0.005
1547	322	3	3	3	5	5	4	4	C	43	1	-0.004
1548	1794	3	3	3	5	5	4	4	C	40	1	-0.004
1549	388	5	4	5	3	5	3	4	S	23	1	0.0011
1550	350	3	4	3	2	5	5	3	S	8	-1	0.0036
1551	1819	3	4	3	2	5	5	3	S	9	-1	0.0036
1552	1755	5	5	2	3	5	5	2	C	28	1	0.0128
1553	2742	5	5	2	3	5	5	2	C	27	1	0.0128
3041	113	2	3	2	2	2	2	2	S	39	1	2.7065
3042	1380	2	2	2	2	3	2	2	C	39	1	2.7161
3043	963	2	2	2	3	2	2	2	S	39	1	2.7298
3044	527	2	2	2	2	2	2	3	C	44	1	2.8193
3045	2295	2	2	2	2	2	2	2	C	41	1	2.9878
3046	2282	2	2	2	2	2	2	2	C	37	1	2.9878
3047	1799	2	2	2	2	2	2	2	C	41	1	2.9878
3048	759	2	2	2	2	2	2	2	C	36	1	2.9878
3049	310	2	2	2	2	2	2	2	C	38	1	2.9878
3050	299	2	2	2	2	2	2	2	C	36	1	2.9878

３．まとめ　本研究は SVM の特徴を利用して，部材単位で行われる橋梁点検の結果を利用して，橋梁単位での劣化の総合的評価と順位付けを行うことを目的としている．SVM に入力する学習データを各部材の劣化度，教師値として供用年数 k 年を境目として k 年以上（教師値+1），k 年以下（教師値-1）とすることで SVM 解析が可能となり，分離面からの距離（F 値）により橋梁単位での評価ができた．橋梁の順位付けと同時に，本研究はソフトマージンを用いているので，逆判定が得られる．供用年数が少ないのに，20 年以上と判定された橋梁は一般的な橋梁と比べて劣化が進んでいることを意味するので注意が必要である．

参考文献　1)北海道建設部：公共土木施設長寿命化検討委員会報告書，2006.　2）杉本博之，一間恵伍，阿部淳一，古川浩平：SVM による橋梁劣化の総合的評価と順位付けに関する基礎的研究，土木学会北海道支部論文報告集第 64 号，A-12,2007.　3)N. Cristianini & J. Shawe-Taylor（訳大北剛）：サポートベクターマシン入門，共立出版，2005.