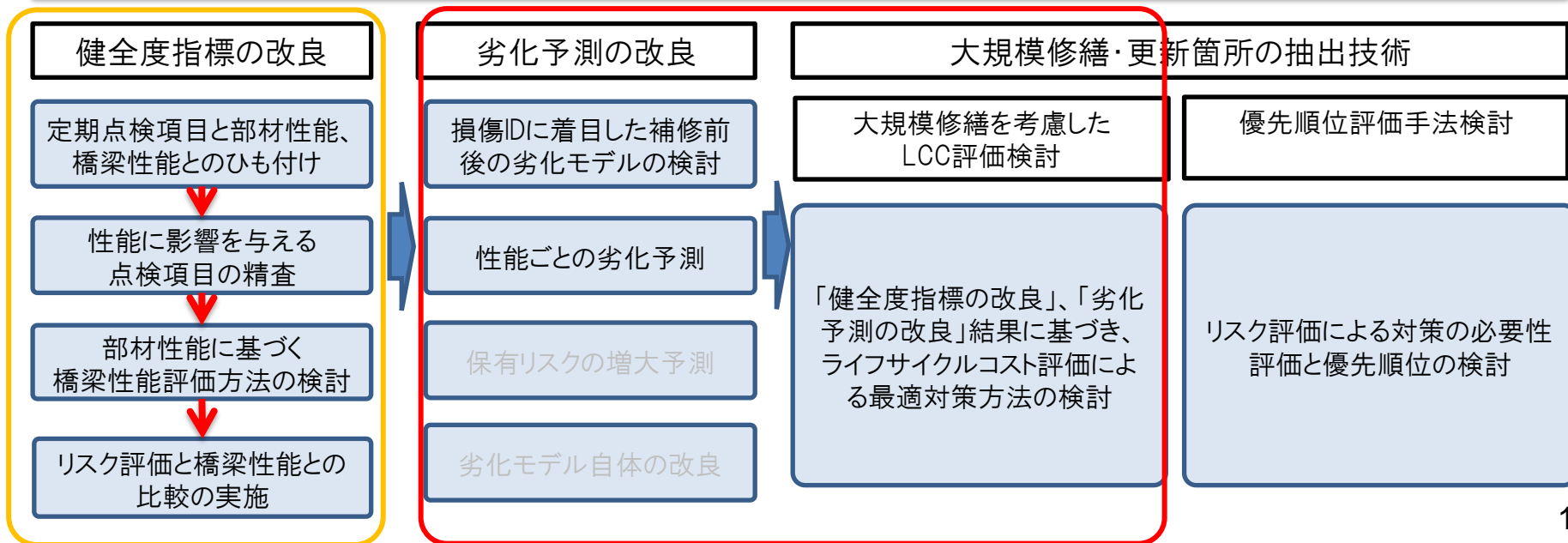


技術審議会
長期維持管理技術委員会(平成27年度 第1回)
平成28年 3月4日

維持管理計画に係るマネジメントシステム 高度化検討状況

検討項目		検討内容
健全度指標の改良 平成26年度検討内容	構造物の性能を踏まえた健全度評価指標の検討	①定期点検の点検項目と、部材性能、橋梁性能とのひも付け ②性能に影響を与える点検項目の精査 ③部材性能に基づく橋梁性能の評価方法の検討 ④リスク評価と橋梁性能との比較の実施
劣化予測の改良	補修後の再劣化モデルの検討	①損傷IDに着目した補修前後の劣化モデルの検討
	長期予測が可能な劣化モデルの検討	①性能ごとの劣化予測 今年度検討内容 ②保有リスクの増大予測 損傷データの蓄積がある ③劣化モデル自体の改良 鋼床版亀裂損傷を対象
大規模修繕・更新箇所の抽出技術	健全度と劣化速度による事業対象箇所評価	①「健全度指標の改良」、「劣化予測の改良」の検討結果に基づきライフサイクルコスト評価による事業対象箇所評価
	多面的な評価による事業対象箇所評価	①リスク評価による対策の必要性評価と、優先順位の検討

検討の流れ

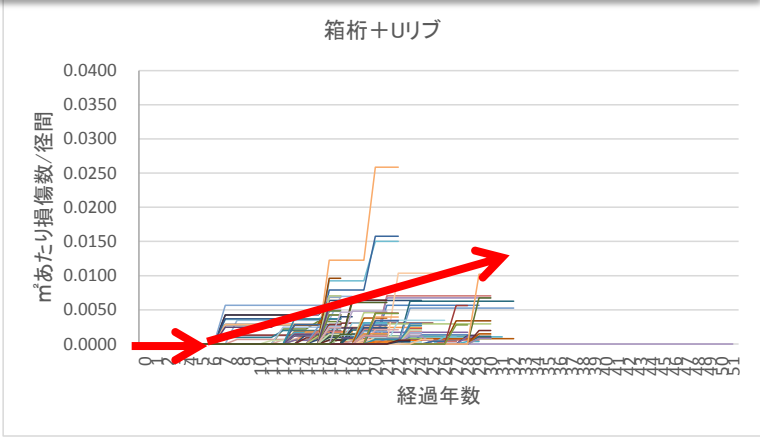


鋼床版亀裂劣化モデルの検討

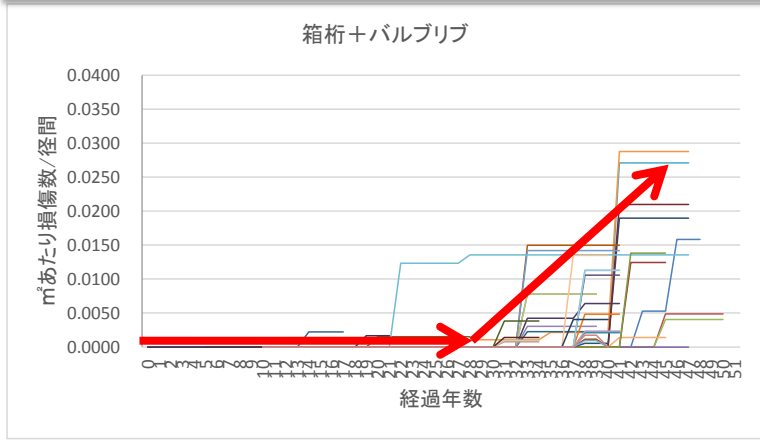
鋼床版の損傷概要

- ① Uリブとバルブリブを比較すると、損傷発生までの経過年数はUリブの方が早いように見える。
- ② 損傷増加率は、バルブリブのほうがUリブよりも高い可能性がある。

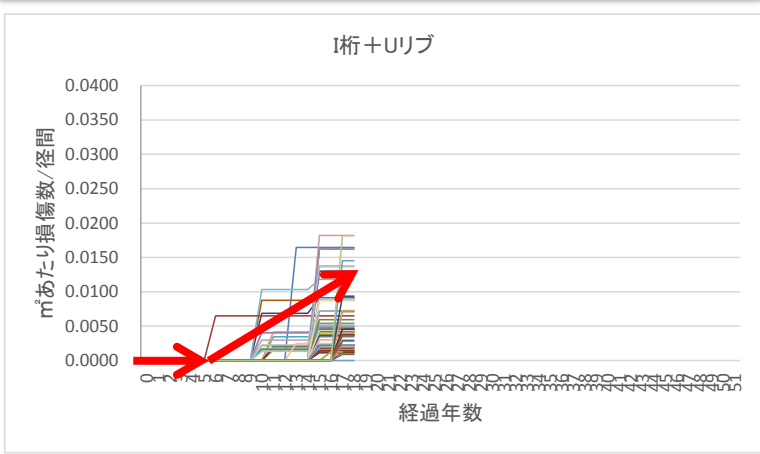
箱桁+Uリブの損傷の進展状況



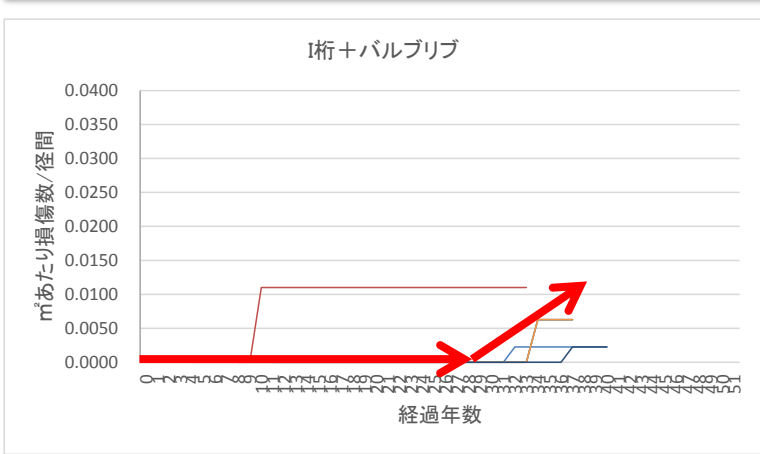
箱桁+バルブリブの損傷の進展状況



I桁+Uリブの損傷の進展状況



I桁+バルブリブの損傷の進展状況



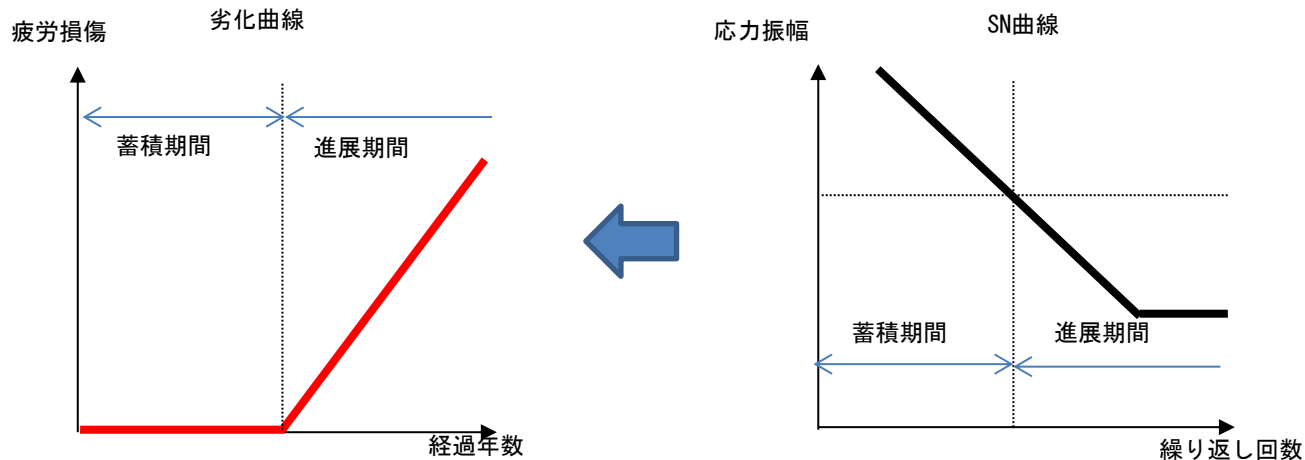
- 鋼床版維持管理システムに収録されているき裂損傷データに基づき劣化予測を行う。

- 以下の3通りの劣化モデルについて検討を行う。
 - ① 無補修時の劣化モデル
 - ② き裂補修後(通常修繕)の劣化モデル
 - ③ 大規模修繕後の劣化モデル

- 理解を容易にするために、回帰分析によって劣化モデルを構築する。

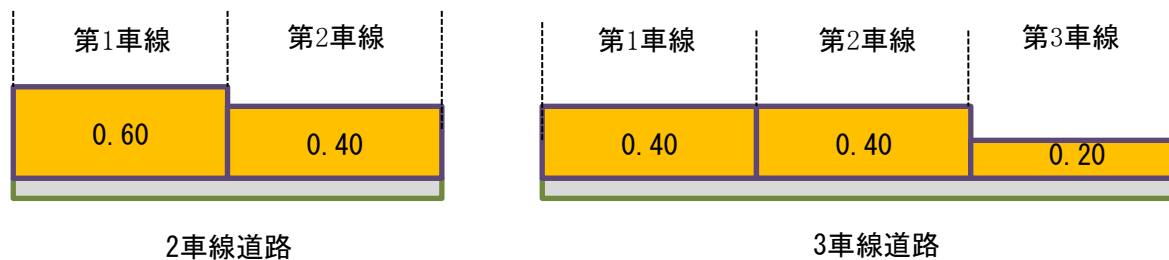
【劣化曲線】

- ① き裂が発生するまでの蓄積期間(疲労寿命)、き裂発生後の進展期間の2期間にわけたバイリニアモデルで構築する。



【評価単位】

- ① 車線単位で交通量を把握、かつき裂も車線番号が記載されているため、径間・車線を評価単位とする。



劣化モデルの検討 ～劣化要因の設定～

【相関分析による劣化要因の抽出】

- ① 鋼床版維持管理システム収録の情報、保全情報管理システム収録の情報に基づき相関分析を実施する。

説明変数	説明変数の説明
箱桁 I桁	桁形式のうち、鋼床版に占める割合が多い、箱桁とI桁を設定
Uリブ バルブリーブ	リブ形式の違いが損傷の違いにつながっているため、Uリブ、バルブリーブを設定
橋長	径間長(m)として設定
橋面積	1径間あたりの橋面積(m ²)として設定
車線あたり面積	1径間あたりの橋面積/車線数 として設定
直線主桁	直線主桁、曲線主桁を設定
バチ桁・斜形状	バチ桁・斜形状を設定
連続径間	単純桁、連続桁を設定
経過年数	竣工から2015年までの年数として設定
損傷発見までの経過年数	竣工から最初にき裂損傷が発見されるまでの経過年数(年)として設定 鋼床版維持管理システムの損傷発見年を基本とするが、保全情報管理システムにてさらに過去に損傷発見年を遡れる場合には、保全情報管理システムの損傷発見年を採用
累積10t換算交通軸数	累積交通量を10t換算軸数として設定
年平均10t換算軸数	累積10t換算交通軸数/経過年数 として設定
き裂長	1車線に発生しているき裂の総延長(mm)として設定
単位車線面積あたりき裂長	き裂長/斜線あたり面積 として設定(mm/m ²)
単位長さあたりき裂長	き裂長/橋長 として設定(mm/m)
平均き裂長	き裂長/き裂数 として設定(m)
単位車線面積あたり平均き裂長	平均き裂長/車線あたり面積 として設定(mm/m ²)
単位長さあたり平均き裂長	平均き裂長/橋長 として設定(mm/m)
き裂数	車線あたりのき裂数として設定(個)
単位車線面積あたりき裂数	き裂数/車線あたり面積 として設定(個/m ²)
単位長さあたりき裂数	き裂数/橋長 として設定(個/m)

劣化モデルの検討 ～劣化要因の抽出～

【相関分析による劣化要因の抽出】

- リブ形式と経過年数、損傷発見までの経過年数に強い相関がみられる。Uリブで負の相関、バルブリブで正の相関がみられることから、Uリブであれば損傷発生が早くなることが示唆される。
- I桁の場合には、損傷発見までの経過年数との間にゆるい負の相関がみられる。このことから、I桁であれば損傷発生が早くなることが示唆される。
- 累積10t換算交通軸数とき裂長、き裂数との間の相関をみると、き裂数に比較的強い相関がみられる。

	箱桁	I桁	Uリブ	バルブリブ	橋長	橋面積	車線あたり面積	直線主桁	ハチ桁・斜形状	連続径間	最大主桁間隔	経過年数	損傷発見までの経過年数	累積10t換算交通軸数	年平均10t換算軸数	亀裂長	単位斜線面積あたり亀裂延長	単位長さ当たり亀裂延長	平均き裂長	単位斜線面積あたり平均亀裂延長	単位長さ当たり平均亀裂延長	
橋長	-0.046	-0.405	0.086	-0.086	1																	
橋面積	-0.084	-0.352	0.222	-0.222	0.930	1																
車線あたり面積	0.021	-0.348	-0.036	0.036	0.753	0.740	1															
直線主桁	-0.293	0.148	0.029	-0.029	0.057	0.069	0.086	1														
ハチ桁・斜形状	0.178	-0.206	0.075	-0.075	0.177	0.219	0.225	-0.498	1													
連続径間	0.196	-0.201	-0.034	0.034	0.045	0.036	-0.021	-0.219	0.088	1												
最大主桁間隔	0.217	-0.344	0.268	-0.268	0.209	0.313	0.134	0.025	0.074	-0.132	1											
経過年数	0.219	-0.300	-0.860	0.860	0.112	-0.028	0.162	-0.101	0.075	0.056	-0.235	1										
損傷発見までの経過年数	0.194	-0.286	-0.783	0.783	0.158	0.043	0.217	-0.087	0.116	-0.004	-0.187	0.927143	1									
累積10t換算交通軸数	-0.180	0.265	-0.337	0.337	-0.196	-0.323	-0.199	0.028	-0.202	0.016	-0.407	0.318	0.167	1								
年平均10t換算軸数	-0.437	0.602	0.169	-0.169	-0.339	-0.371	-0.333	0.167	-0.294	-0.085	-0.300	-0.316	-0.410	0.7382	1							
亀裂長	0.082	-0.086	0.094	-0.094	0.099	0.092	0.048	-0.009	-0.003	-0.052	0.037	-0.020	-0.049	0.016	0.019	1						
単位斜線面積あたり亀裂延長	-0.026	0.113	0.062	-0.062	-0.125	-0.118	-0.149	0.059	-0.139	-0.110	-0.026	-0.068	-0.104	0.101	0.171	0.862	1					
単位長さ当たり亀裂延長	-0.019	0.102	0.059	-0.059	-0.116	-0.110	-0.114	0.052	-0.114	-0.115	-0.023	-0.063	-0.102	0.097	0.166	0.865	0.990	1				
平均き裂長	-0.030	-0.024	0.236	-0.236	0.147	0.174	0.045	-0.044	0.073	-0.010	0.058	-0.160	-0.089	-0.163	-0.070	0.492	0.458	0.453	1			
単位斜線面積あたり平均亀裂延長	-0.306	0.450	0.045	-0.045	-0.290	-0.243	-0.293	0.091	-0.164	-0.022	-0.165	-0.153	-0.099	0.044	0.211	0.259	0.467	0.445	0.612	1		
単位長さ当たり平均亀裂延長	-0.281	0.425	0.068	-0.068	-0.282	-0.234	-0.262	0.074	-0.132	-0.043	-0.149	-0.172	-0.120	0.039	0.216	0.302	0.512	0.501	0.667	0.986	1	
き裂数	0.200	-0.174	-0.274	0.274	-0.005	-0.056	0.020	-0.056	-0.089	-0.028	-0.016	0.336	0.229	0.334	0.075	0.495	0.418	0.428	-0.087	-0.124	-0.119	
単位車線面積あたり亀裂数	0.115	-0.022	-0.281	0.281	-0.188	-0.216	-0.185	0.016	-0.232	-0.072	-0.055	0.278	0.162	0.386	0.189	0.380	0.484	0.458	-0.118	-0.001	-0.008	
単位長さ当たり亀裂数	0.135	-0.041	-0.289	0.289	-0.183	-0.212	-0.127	0.006	-0.190	-0.061	-0.050	0.286	0.167	0.365	0.172	0.405	0.476	0.481	-0.124	-0.026	-0.023	



劣化モデルの検討 ～劣化要因の抽出～

【Uリブに限定した相関分析による劣化要因の抽出】

- ① I桁と年平均10t換算軸数との間に強い相関がみられる。これはI桁区間で交通量が多くなる傾向にあることを示す。
- ② 累積10t換算交通軸数、年平均10t換算軸数と相関がよいのは、単位車線面積あたり平均き裂長である。
- ③ 損傷発見までの経過年数については、I桁がやや強い負の相関、橋長、橋面積、車線あたり面積でやや強い正の相関、バチ桁・斜形状でゆるやかな正の相関がみられる。

Uリブ	箱桁	桁	橋長	橋面積	車線あたり面積	直線主桁	バチ桁・斜形状	連続径間	最大主桁間隔	経過年数	損傷発見までの経過年数	累積10t換算交通軸数	年平均10t換算軸数	亀裂長	単位斜線面積あたり亀裂延長	単位長さあたり亀裂延長	平均き裂長	単位斜線面積あたり平均亀裂延長	単位長さあたり平均亀裂延長	
最大主桁間隔	0.260	-0.406	0.239	0.288	0.163	0.003	0.045	-0.094	1											
経過年数	0.229	-0.491	0.485	0.417	0.371	-0.113	0.393	0.108	-0.017	1										
損傷発見までの経過年数	0.166	-0.403	0.476	0.437	0.409	-0.117	0.357	0.000	0.023	0.844	1									
累積10t換算交通軸数	-0.529	0.664	-0.359	-0.412	-0.314	0.244	-0.233	-0.124	-0.399	-0.237	-0.324	1								
年平均10t換算軸数	-0.562	0.766	-0.470	-0.482	-0.392	0.260	-0.356	-0.152	-0.352	-0.537	-0.552	0.938	1							
亀裂長	0.065	-0.072	0.116	0.083	0.057	-0.016	0.000	-0.015	-0.013	0.095	0.014	0.062	0.001	1						
単位斜線面積あたり亀裂延長	-0.045	0.136	-0.130	-0.137	-0.134	0.045	-0.125	-0.063	-0.080	-0.077	-0.134	0.198	0.186	0.865	1					
単位長さあたり亀裂延長	-0.043	0.130	-0.123	-0.130	-0.120	0.047	-0.117	-0.081	-0.074	-0.072	-0.135	0.197	0.183	0.858	0.996	1				
平均き裂長	-0.016	-0.047	0.159	0.147	0.065	-0.042	0.026	0.009	-0.007	0.175	0.194	-0.055	-0.108	0.545	0.518	0.510	1			
単位斜線面積あたり平均亀裂延長	-0.230	0.376	-0.288	-0.272	-0.269	0.049	-0.177	-0.048	-0.200	-0.182	-0.127	0.302	0.329	0.361	0.579	0.565	0.713	1		
単位長さあたり平均亀裂延長	-0.215	0.358	-0.283	-0.283	-0.247	0.040	-0.154	-0.067	-0.187	-0.172	-0.123	0.288	0.311	0.389	0.612	0.606	0.727	0.990	1	
き裂数	0.154	-0.140	0.069	0.030	0.026	0.018	0.015	0.024	0.072	0.041	-0.102	0.121	0.062	0.716	0.572	0.572	0.098	0.011	0.025	
単位車線面積あたり亀裂数	0.022	0.118	-0.276	-0.277	-0.248	0.123	-0.190	0.014	-0.036	-0.209	-0.340	0.320	0.331	0.520	0.643	0.635	0.024	0.179	0.188	
単位長さあたり亀裂数	0.041	0.094	-0.265	-0.265	-0.225	0.124	-0.174	-0.006	-0.021	-0.204	-0.337	0.302	0.312	0.518	0.633	0.634	0.016	0.158	0.175	

■ -0.200～0.200

■ -0.400～-0.200
0.200～0.400

■ -0.700～-0.400
0.400～0.700

■ -1.000～-0.700
0.700～1.000

劣化モデルの検討 ～劣化要因の抽出～

【バルブリブに限定した相関分析による劣化要因の抽出】

- ① バルブリブでは、I桁で負のゆるい相関、箱桁で正のゆるい相関がみられる。
- ② 累積10t換算交通軸数、年平均10t換算軸数と相関がよいのは、き裂数である。
- ③ 損傷発見までの経過年数については、箱桁でゆるい正の相関、I桁でゆるい負の相関がみられる。これはI桁の場合に損傷発見までの期間が短くなることを示唆する。また、連続径間でゆるい負の相関がみられており、連続径間の場合に損傷発見までの期間が短くなることを示唆する。

バルブリブ	箱桁	I桁	橋長	橋面積	車線あたり面積	直線主桁	ハチ桁・斜形状	連続径間	最大主桁間隔	経過年数	損傷発見までの経過年数	累積10t換算交通軸数	年平均10t換算軸数	亀裂長	単位斜線面積あたり亀裂延長	単位長さ当たり亀裂延長	平均き裂長	単位斜線面積あたり平均亀裂延長	単位長さ当たり平均亀裂延長
最大主桁間隔	0.231	-0.216	-0.033	0.104	0.110	0.121	0.141	-0.384	1										
経過年数	0.418	-0.428	0.062	0.006	-0.025	-0.249	-0.040	-0.110	0.026	1									
損傷発見までの経過年数	0.304	-0.259	0.017	-0.016	-0.014	-0.056	0.035	-0.227	0.135	0.693	1								
累積10t換算交通軸数	0.248	-0.246	0.061	-0.071	-0.125	-0.266	-0.152	0.219	-0.490	0.439	0.052919	1							
年平均10t換算軸数	0.191	-0.193	0.060	-0.063	-0.117	-0.230	-0.139	0.242	-0.491	0.320	-0.04152	0.984011	1						
亀裂長	0.279	-0.249	-0.030	-0.012	0.034	0.010	-0.076	-0.275	0.318	0.276	0.199	0.056	0.016	1					
単位斜線面積あたり亀裂延長	0.132	-0.055	-0.152	-0.123	-0.233	0.130	-0.264	-0.389	0.348	0.192	0.152	0.030	0.001	0.838	1				
単位長さ当たり亀裂延長	0.184	-0.107	-0.134	-0.095	-0.090	0.080	-0.152	-0.328	0.360	0.210	0.166	0.009	-0.022	0.943	0.931	1			
平均き裂長	0.030	-0.018	0.018	-0.002	0.016	-0.100	0.201	-0.059	0.002	-0.241	-0.002	-0.210	-0.153	-0.008	-0.013	-0.014	1		
単位斜線面積あたり平均亀裂延長	-0.524	0.683	-0.316	-0.263	-0.347	0.192	-0.151	0.053	-0.179	-0.312	-0.044	-0.216	-0.164	-0.145	0.106	0.035	0.384	1	
単位長さ当たり平均亀裂延長	-0.485	0.650	-0.310	-0.253	-0.295	0.166	-0.092	0.044	-0.146	-0.347	-0.059	-0.237	-0.176	-0.140	0.083	0.029	0.492	0.987	1
き裂数	0.295	-0.259	-0.026	-0.030	-0.002	-0.139	-0.182	-0.127	0.118	0.391	0.169	0.347	0.291	0.799	0.659	0.737	-0.222	-0.238	-0.257
単位車線面積あたり亀裂数	0.216	-0.148	-0.118	-0.115	-0.218	-0.069	-0.325	-0.233	0.172	0.337	0.124	0.332	0.284	0.709	0.802	0.751	-0.212	-0.120	-0.154
単位長さ当たり亀裂数	0.249	-0.179	-0.105	-0.093	-0.097	-0.102	-0.232	-0.183	0.179	0.347	0.136	0.300	0.249	0.795	0.753	0.810	-0.220	-0.162	-0.185

■ -0.200～0.200

■ -0.400～-0.200
0.200～0.400

■ -0.700～-0.400
0.400～0.700

■ -1.000～-0.700
0.700～1.000

【蓄積期間の劣化曲線の設定】

- ① バルブリブに対して、累積10t換算軸数、平均10t換算軸数については相関がみられない。
- ② ただし、バルブリブについてはサンプル数が149サンプルと少なくなっており統計的な信頼性が高いとはいいきれない。疲労き裂の発生メカニズムを考慮すると、交通軸数は劣化要因と考える必要があるため、年平均10t換算軸数を劣化要因として取り扱う。

損傷発生までの期間と各種項目の相関係数

	I桁	橋長	バチ桁・斜 形状	連続径間	累積10t換 算軸数	年平均10t 換算軸数
Uリブ	-0.40	0.48	0.36	0.00	-0.32	-0.55
バルブリブ	-0.26	0.02	0.04	-0.23	0.05	-0.04

Uリブの劣化モデル: $f_1(I, Tr, L, K) = a_1I + a_2Tr + a_3L + a_4K + a_5$

バルブリブの劣化モデル: $f_2(I, Tr, C) = b_1I + b_2Tr + b_3C + b_4$

I : I桁の場合は1、I桁以外は0

Tr : 年平均10t換算軸数

L : 橋長(m)

K : バチ桁・斜形状の場合は1、それ以外は0

C : 連続桁であれば1、単純桁であれば0

【進展期間の劣化曲線の設定：Uリブ】

- ① Uリブの損傷はタイプ①が多く、1損傷あたりのき裂長も他の損傷タイプよりも長い。
- ② 一方で、タイプ③、④の損傷数は全体の半分程度存在している。
- ③ タイプ①の損傷はUリブの軸方向にき裂延長が伸びる可能性があるが、損傷数の影響も一定程度あると考えられる。相関係数を確認しても、累積交通軸数との相関は、き裂長よりもき裂数との相関が高い。
- ④ 以上のことから、Uリブは「単位面積あたりのき裂数」を進展期間の劣化予測指標とし、この指標に影響を与える項目を劣化要因とする。

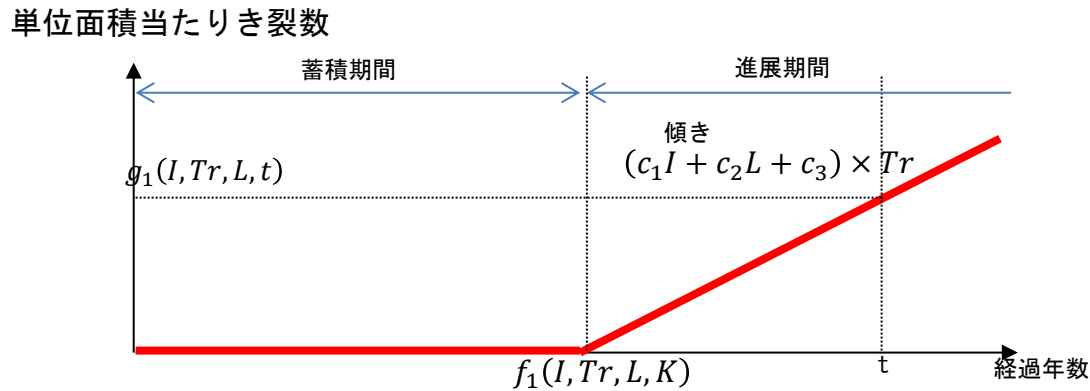
損傷と各種項目の相関係数

	I桁	橋長	累積10t換算軸数	年平均10t換算軸数
車線面積当たり平均き裂長	0.36	-0.28	0.29	0.31
き裂数	-0.14	0.07	0.12	0.06
単位面積あたりき裂数	0.12	-0.28	0.32	0.33

【進展期間の劣化曲線の設定：Uリブ】

① 進展期の単位面積当たりのき裂数は以下の式で表されると考える。

$$\text{進展期予測式: } g_1(I, Tr, L, t) = (c_1I + c_2L + c_3) \times Tr \times (t - f_1(I, Tr, L, K))$$



劣化モデルのイメージ

き裂数への変換: $L_1(I, Tr, L, t) = S(n, i, j) \times g_1(I, Tr, L, t)$

$S(n, i, j)$: 径間車線の面積

【進展期間の劣化曲線の設定：バルブリブ】

- ① バルブリブの場合には、タイプ④の損傷が卓越する。この損傷はタイプ①と異なり、延長が伸びる方向に進展しないと考えられる。
- ② バルブリブについては、累積軸数とき裂数がき裂延長よりも相関が高い。そこで、き裂数に着目してき裂進展の予測式を設定し、き裂延長への変換を行う。

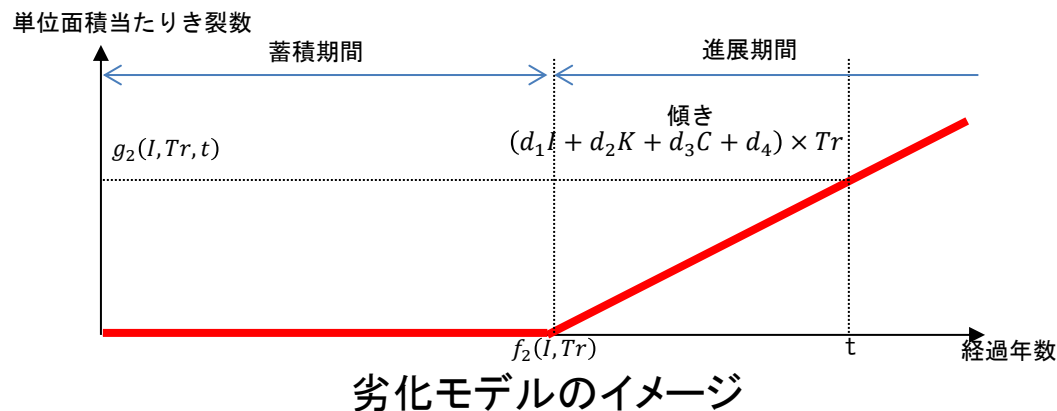
損傷と各種項目の相関係数

	I桁	橋長	バチ桁・斜形状	連続桁	累積10t換算軸数	年平均10t換算軸数
車線面積当たり平均き裂長	0.65	-0.31	-0.09	0.04	-0.23	-0.16
き裂数	-0.26	-0.03	-0.18	-0.13	0.35	0.29
単位面積あたりき裂数	-0.15	-0.12	-0.33	-0.23	0.33	0.28

【進展期間の劣化曲線の設定：バルブリブ】

- ① 進展期の単位面積当たりのき裂数は以下の式で表されると考える。

進展期予測式：
$$g_2(I, K, C, Tr, t) = (d_1I + d_2K + d_3C + d_4) \times Tr \times (t - f_2(I, Tr))$$



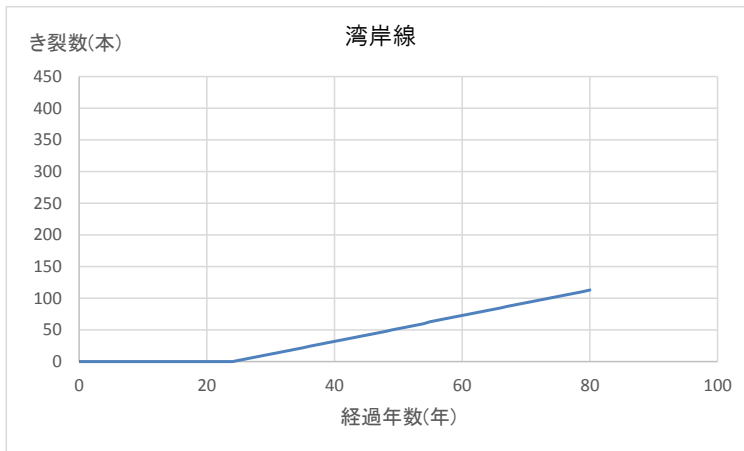
き裂数への変換：
$$L_2(I, K, C, Tr, t) = S(n, i, j) \times g_2(I, K, C, Tr, t)$$

$S(n, i, j)$: 径間車線の面積

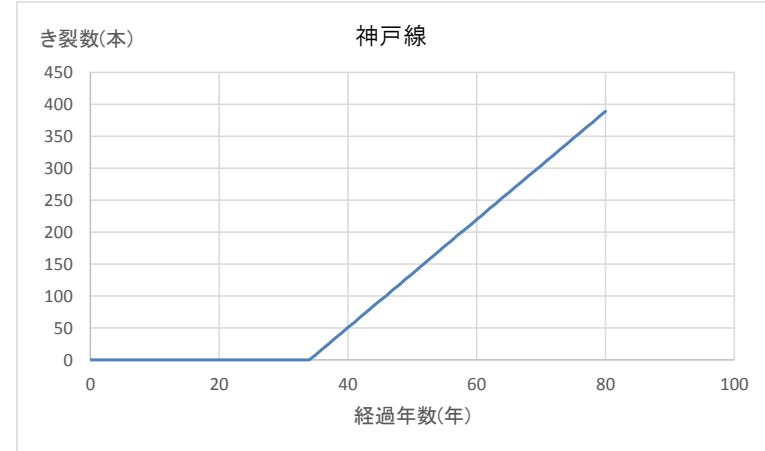
【劣化曲線】

- ① 劣化予測式から、Uリブとバルブリブでは、き裂発生までの期間に差があり、Uリブでは約20年、バルブリブでは約40年となる。
- ② Uリブの場合には、損傷発生時期は早いが損傷進展が緩やかであり、バルブリブの場合には、損傷発生時期は遅いが、損傷進展が急となる傾向がみられる。
- ③ 傾きは径間の特徴(諸元や交通量)によって異なる。

Uリブの劣化曲線例

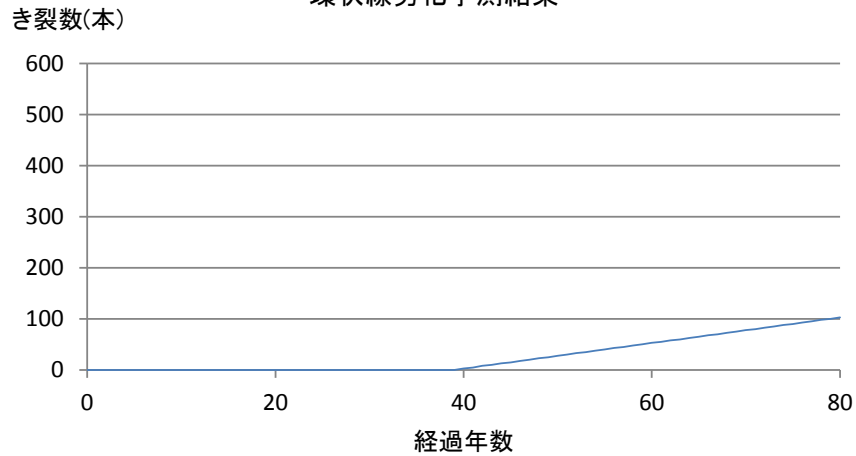


バルブリブの劣化曲線例

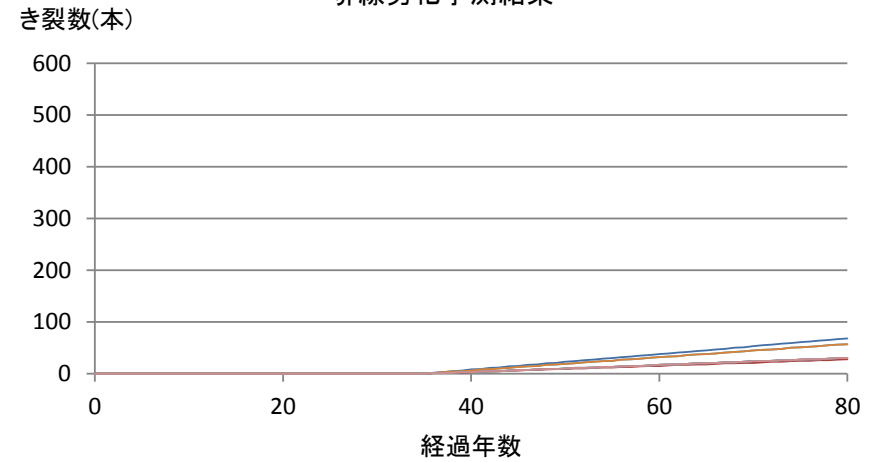


【路線別劣化曲線】

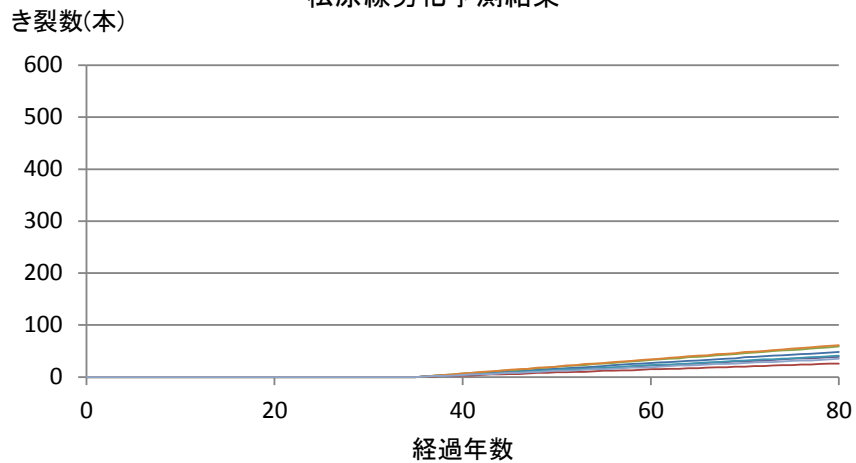
環状線劣化予測結果



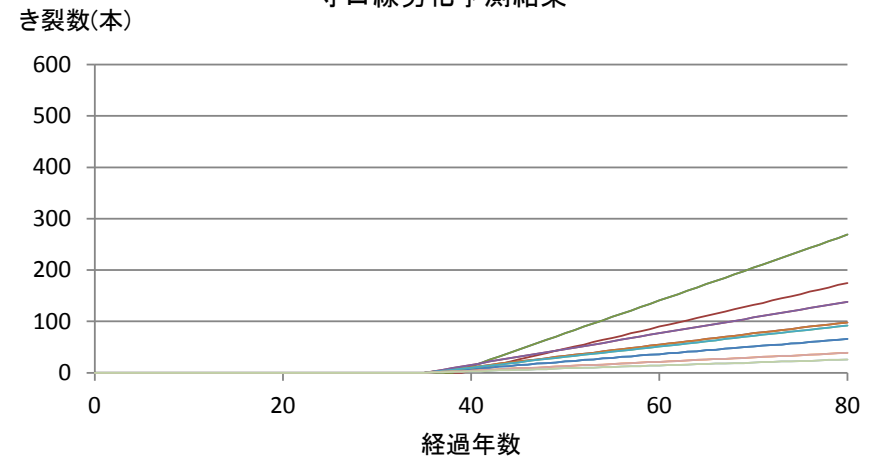
堺線劣化予測結果



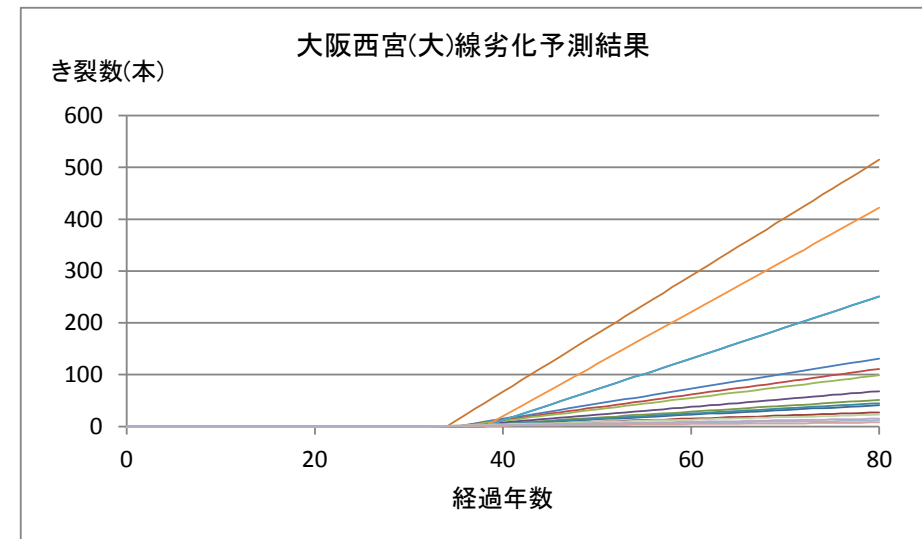
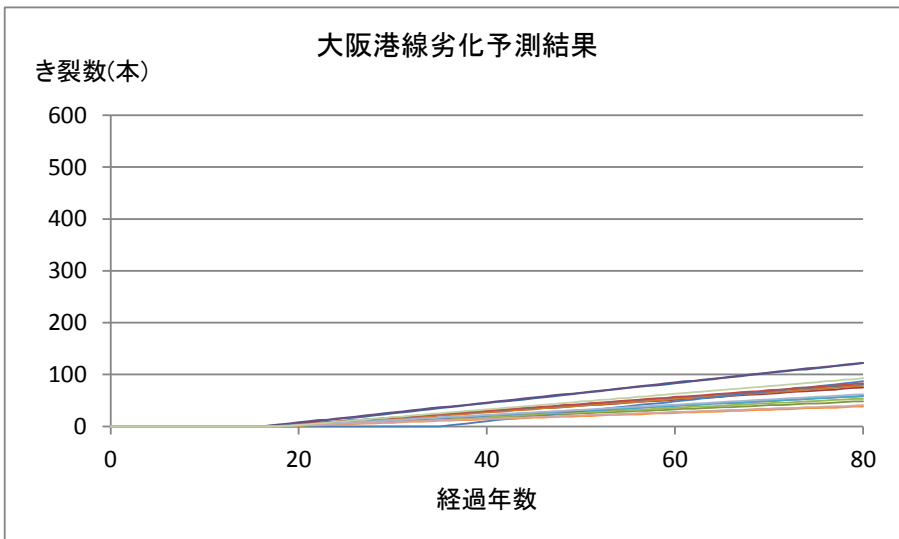
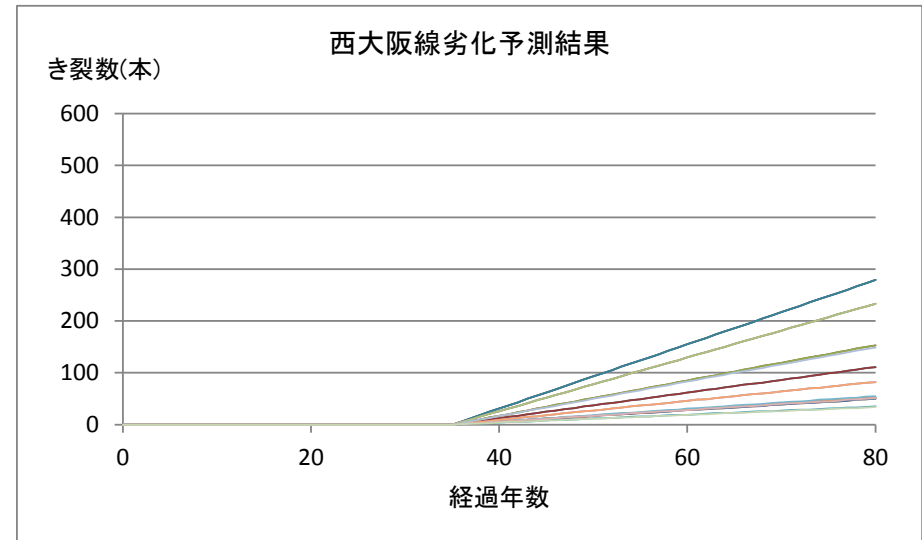
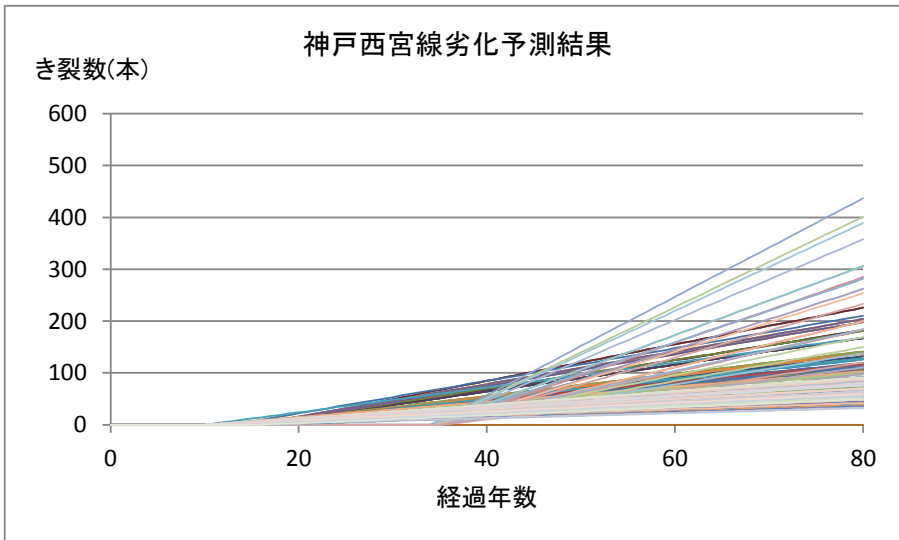
松原線劣化予測結果



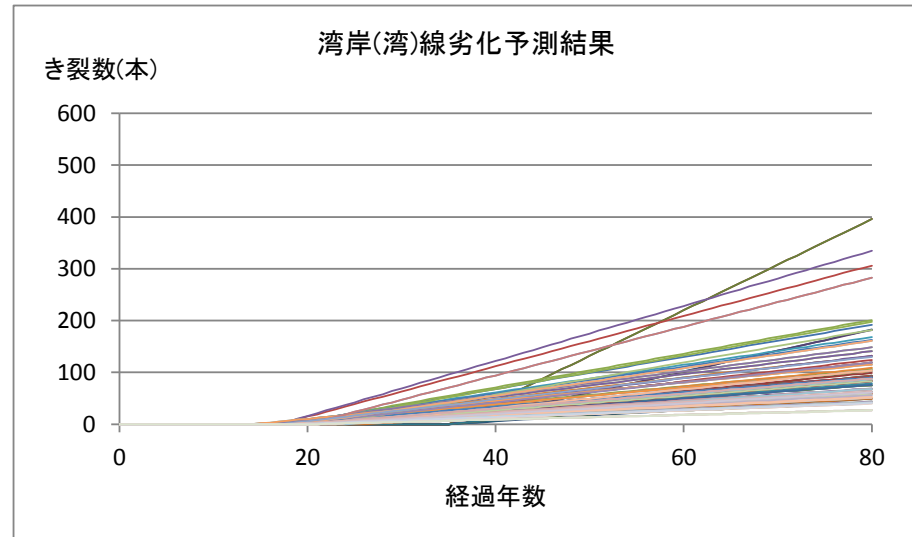
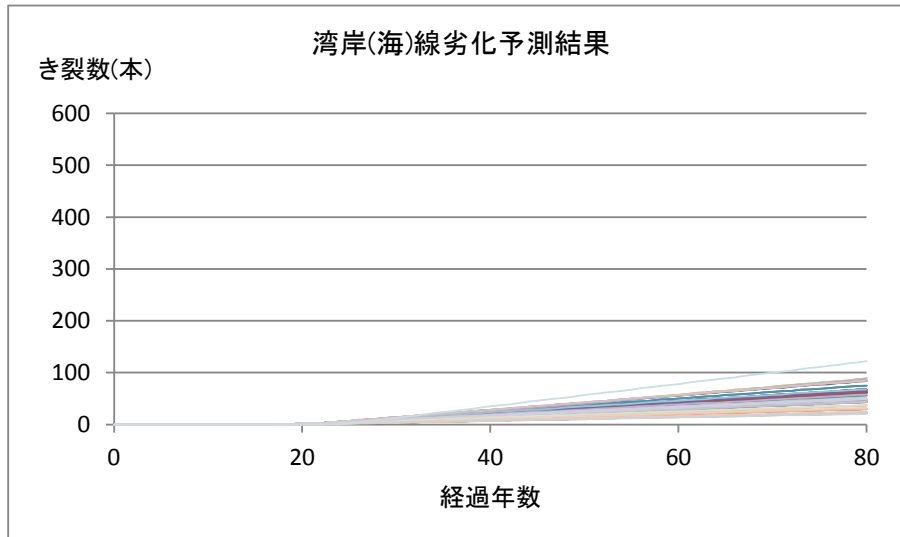
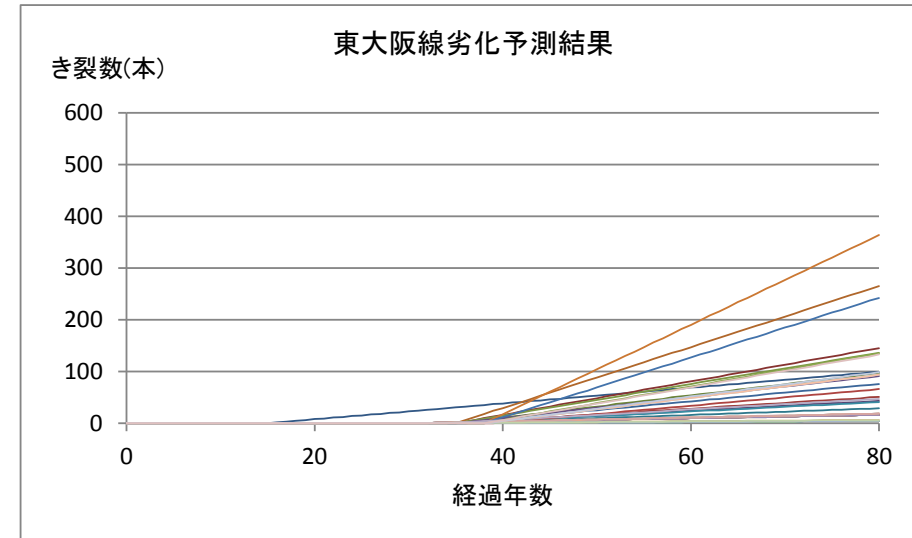
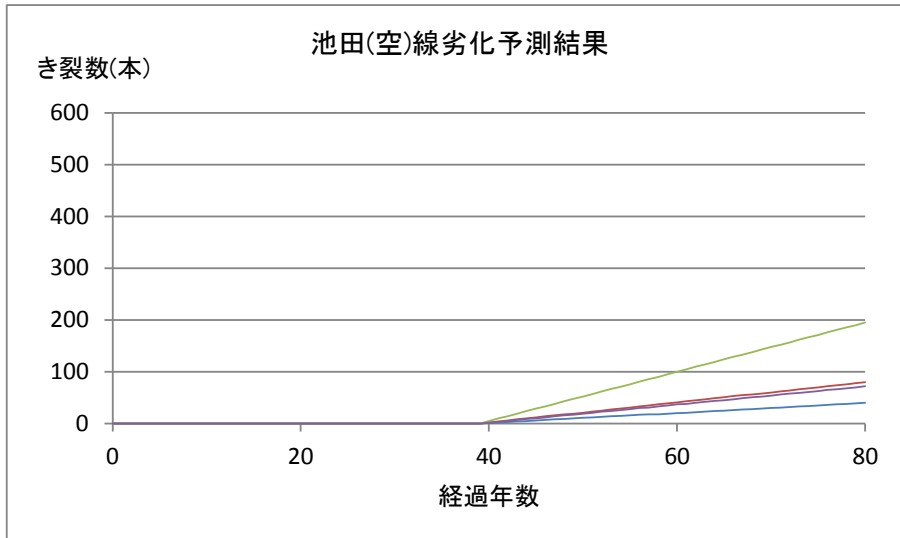
守口線劣化予測結果



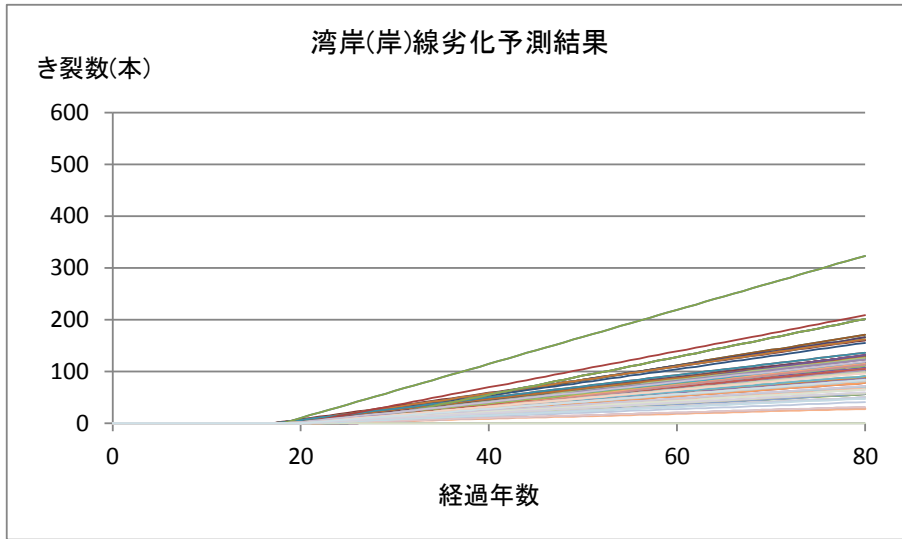
【路線別劣化曲線】



【路線別劣化曲線】



【路線別劣化曲線】



- ① 観測値と推計値が一致するとき、近似直線の傾きは1.0となる。
- ② 傾きが1.0より小さいため、概ね 観測値 > 推計値 となることから、蓄積期間は観測値と比較して短く推計し安全側の評価となっている。

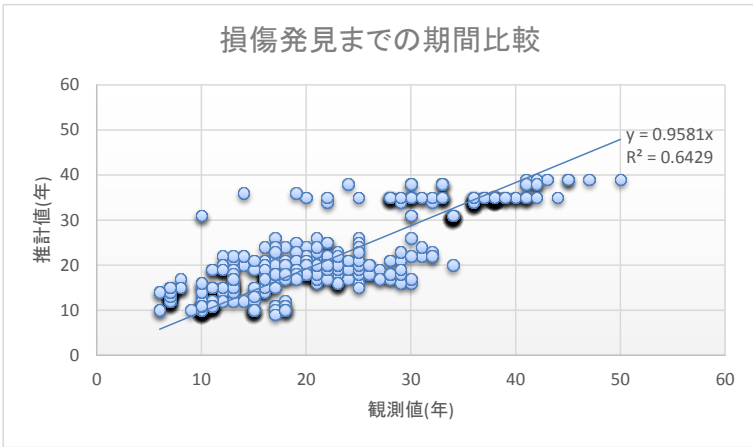


図 観測値と推計値との比較

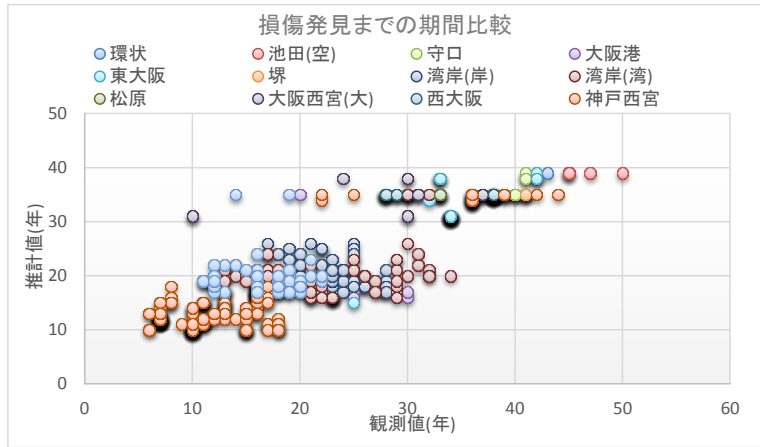


図 路線別の観測値と推計値との比較

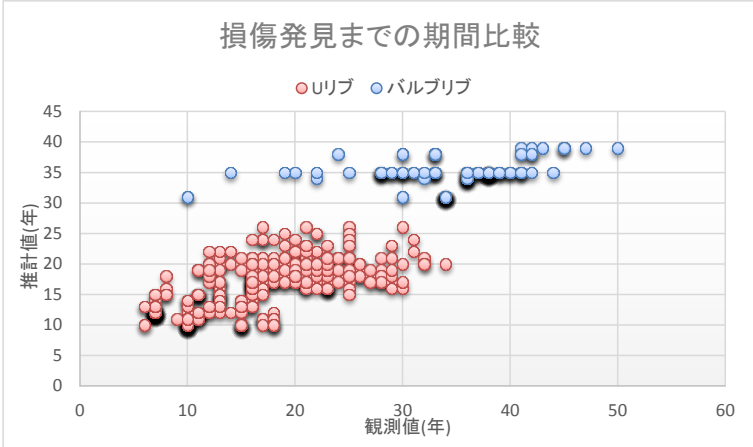


図 リブ形式別の観測値と推計値との比較

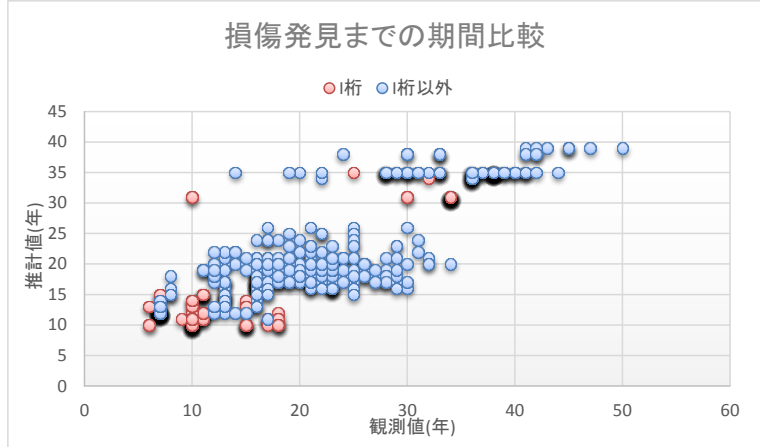
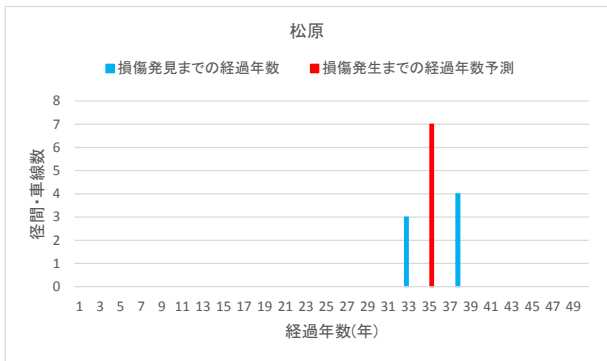
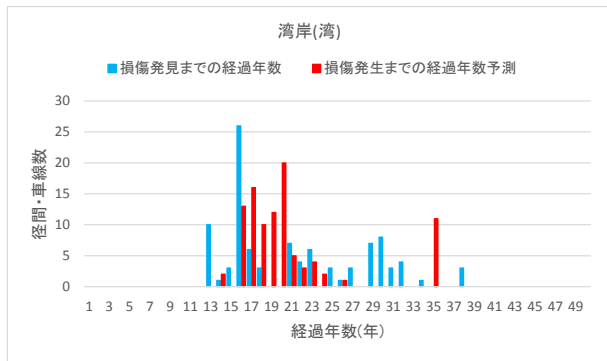
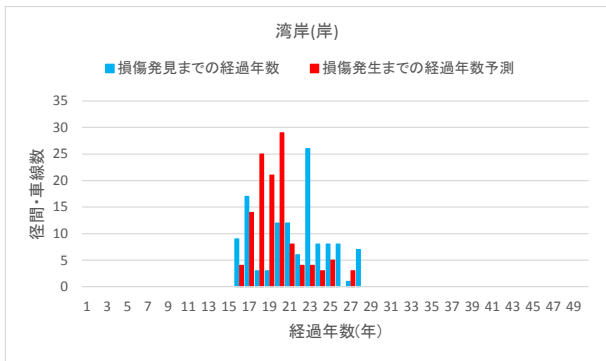
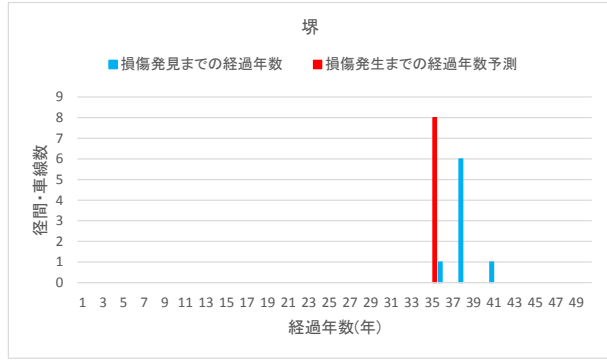
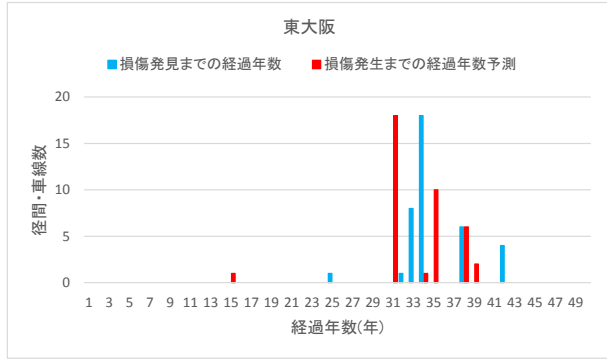
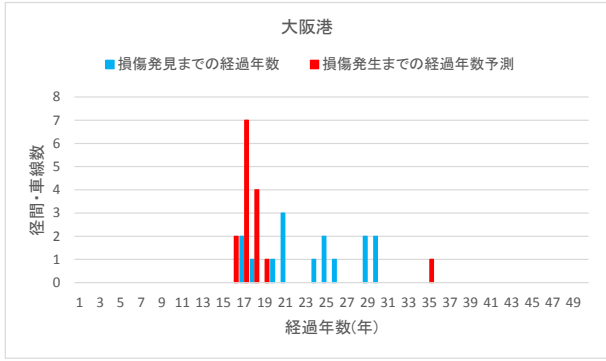
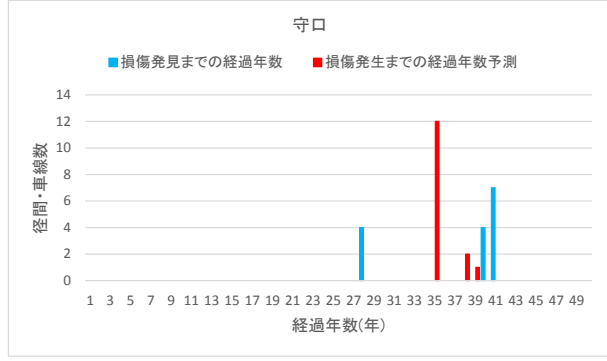
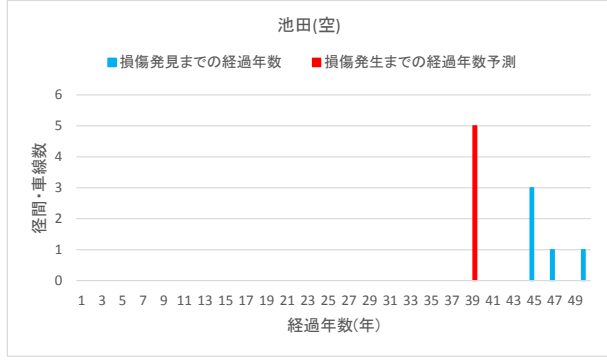
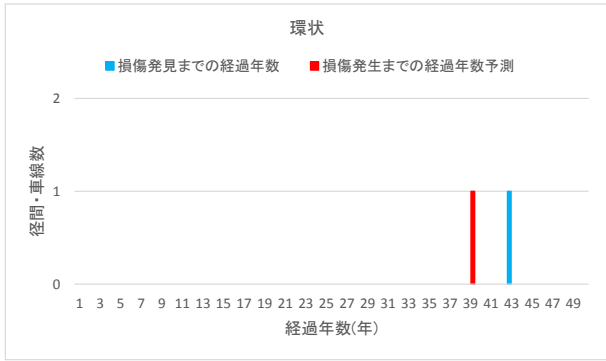


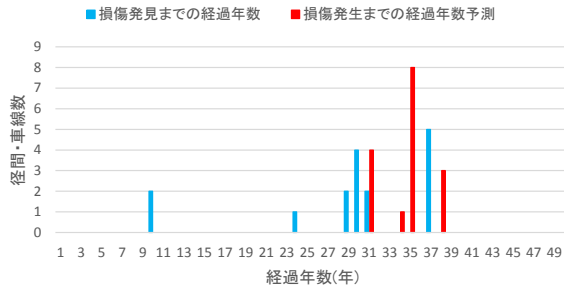
図 桁種別毎の観測値と推計値との比較

【路線別度数分布比較】

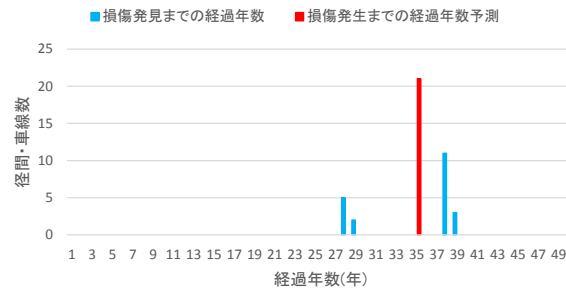


【路線別度数分布比較】

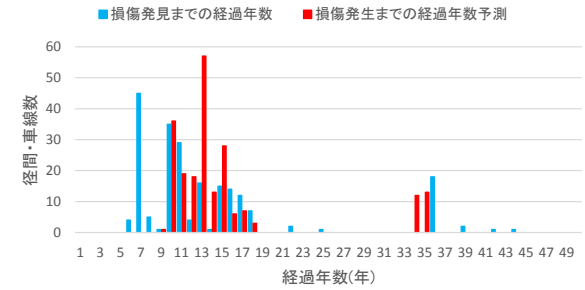
大阪西宮(大)



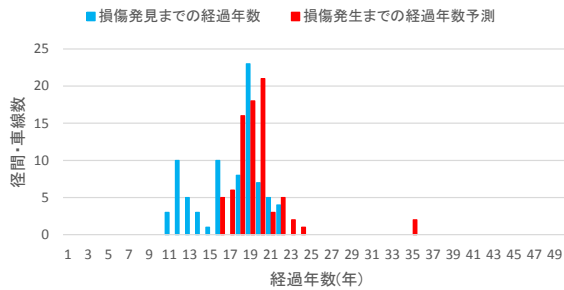
西大阪



神戸西宮



湾岸(海)



- ① 観測値と推計値が一致するとき、近似直線の傾きは1.0となる。
- ② 傾きが1.0より小さいため、概ね 観測値 > 推計値 となることから、進展期間の亀裂数は観測値と比較して数を小さく推計する傾向にあり、危険側の評価となっている。

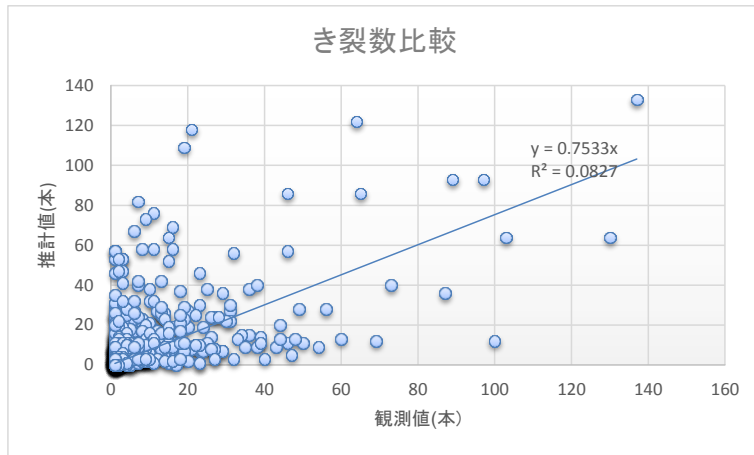


図 観測値と推計値との比較

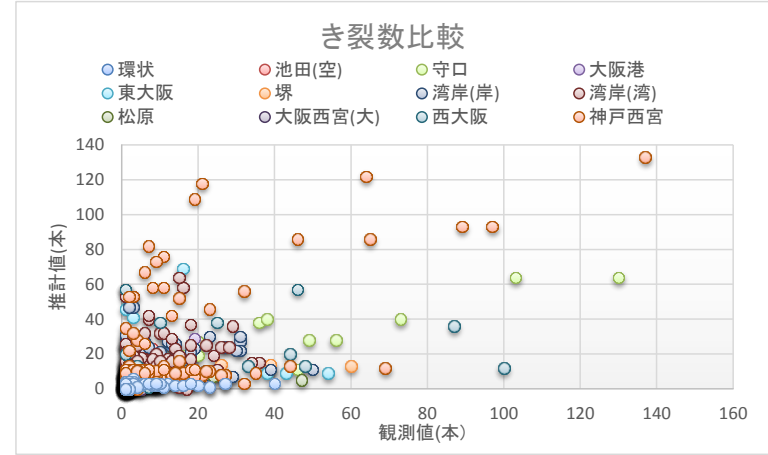


図 路線別の観測値と推計値との比較

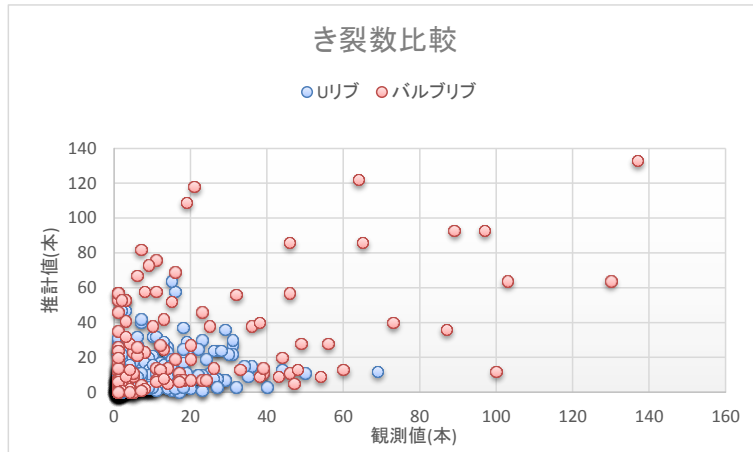
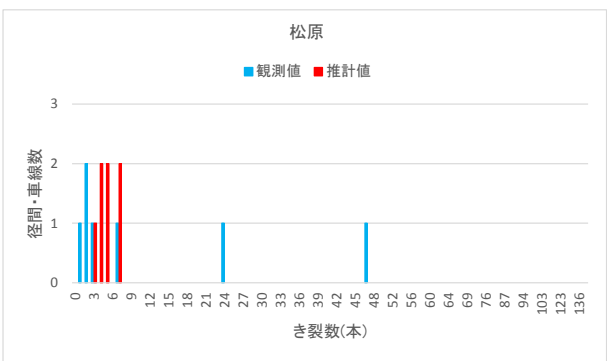
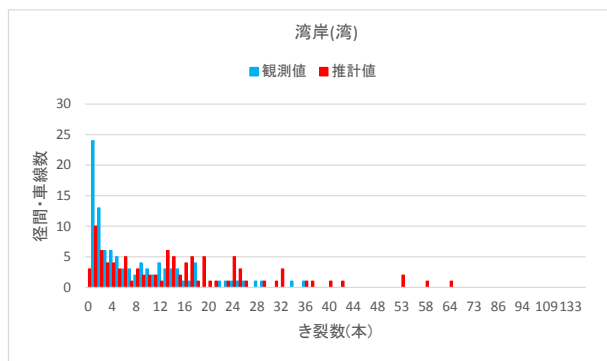
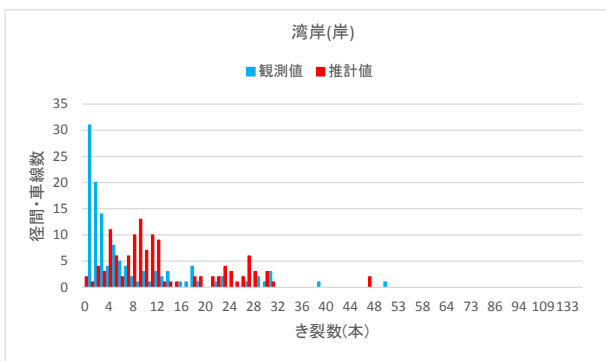
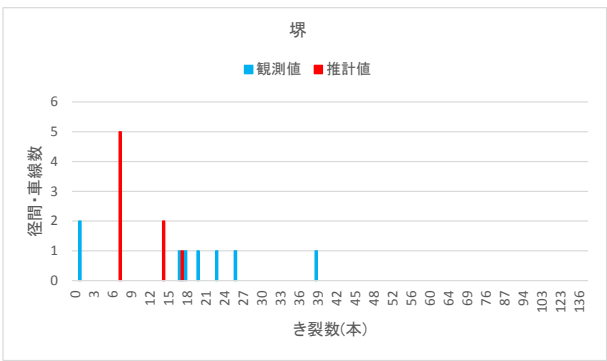
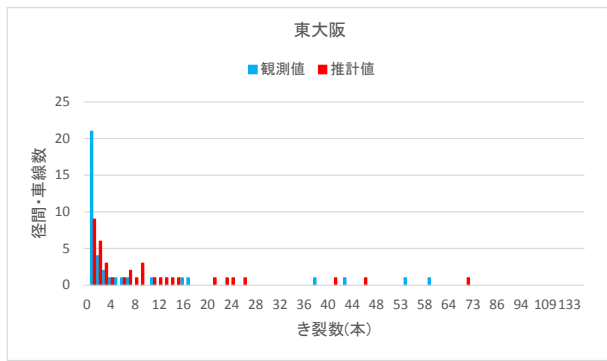
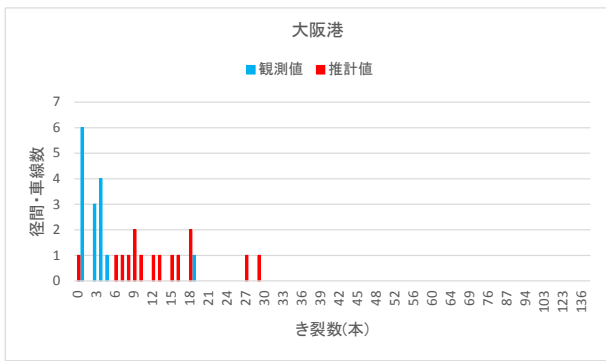
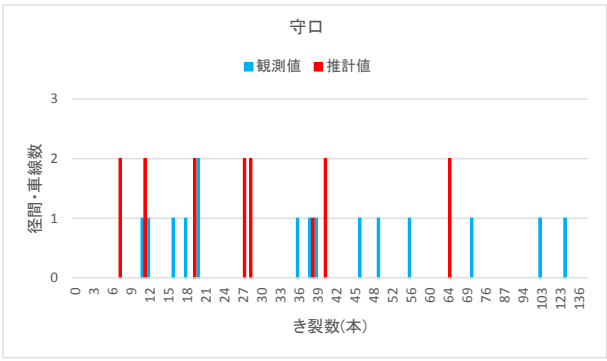
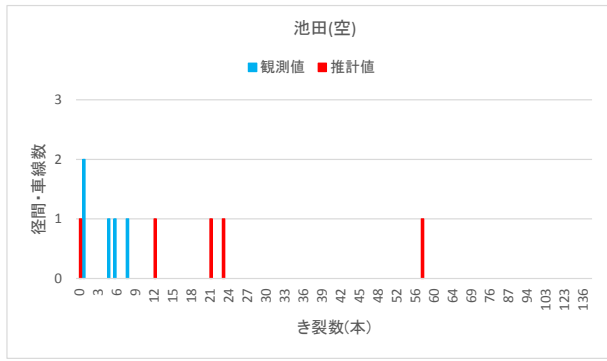
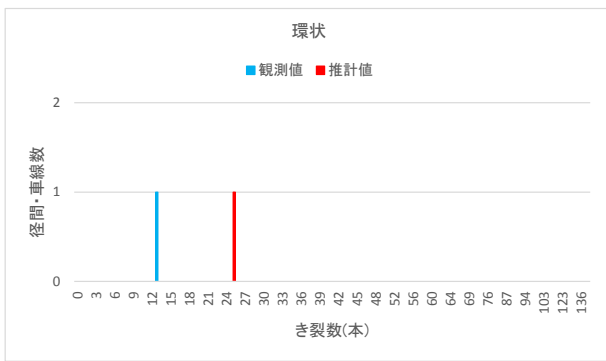
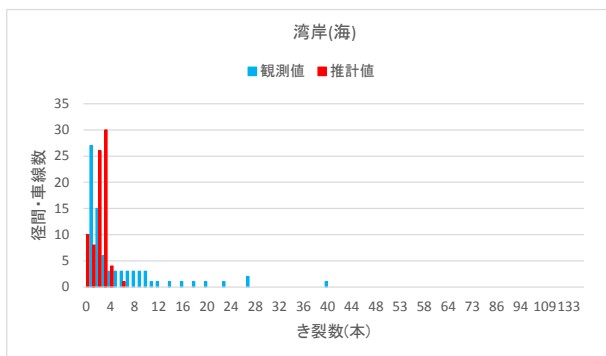
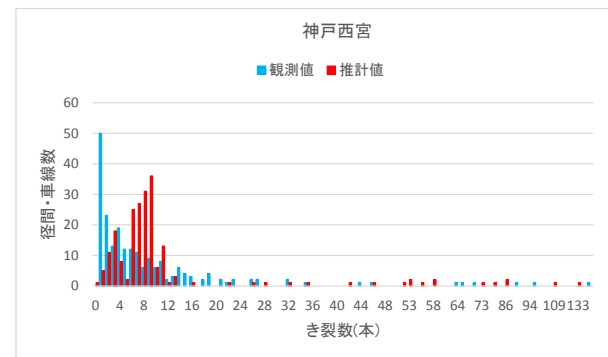
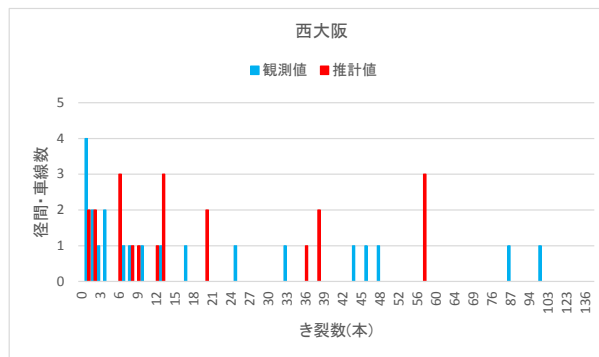
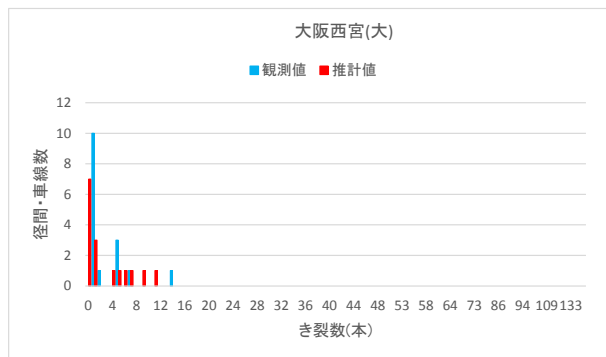


図 リブ形式別の観測値と推計値との比較

【路線別度数分布比較】



【路線別度数分布比較】



損傷発生に関する実測と推計の対比

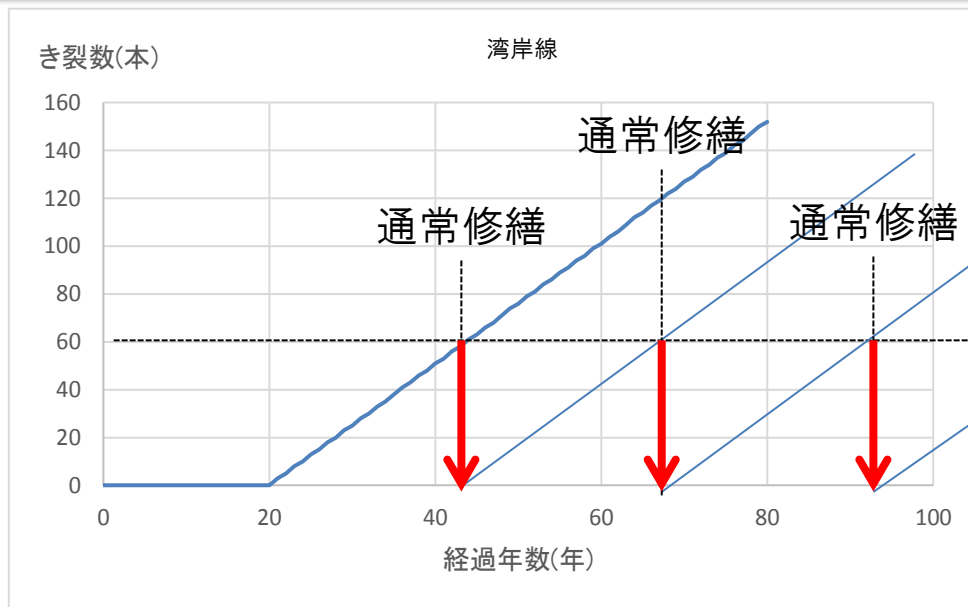
- ① Uリブを有する径間について、構築した劣化モデルにより2016年時点の損傷を推計し、実際の損傷発生状況(過去に損傷発生が報告されたもの)と対比した。
- ② 表に示すとおり、実測値で損傷がある236径間について、推計値でも損傷ありと評価したのは231径間で、約98%が合致しており、概ね現状の損傷発生を表現できるモデルとなっている。

リスト

推計値	実測値		総計
	損傷あり	損傷なし	
損傷あり	231	3	234
損傷なし	5	446	451
総計	236	449	685

【通常修繕】

- ① 所定の損傷に到達し、修繕を実施すると、応力の再配分により、修繕実施箇所以外に応力集中が生じ、新たな損傷が発生する、と考える。
- ② 従って、修繕実施後はき裂数を0にする。その後、修繕前と同じ割合で損傷数が増加する、と考える。



【大規模修繕】

- ① 平成14年道路橋示方書に準じて建設された鋼床版で、き裂発生への報告はない。
- ② 平成14年道路橋示方書に準じた対策がなされた場合、向こう100年間は損傷が発生しないと考える。

- ① 回帰モデルによって蓄積期間を推計する。
- ② 2015年時点で、実際には損傷が未発生かつ推計上損傷が発生する場合には、2016年に損傷が発生すると考える。
- ③ 2015年時点で、損傷が発生し、かつ推計上損傷が発生しない場合には、2015年に損傷が発生したと考える。

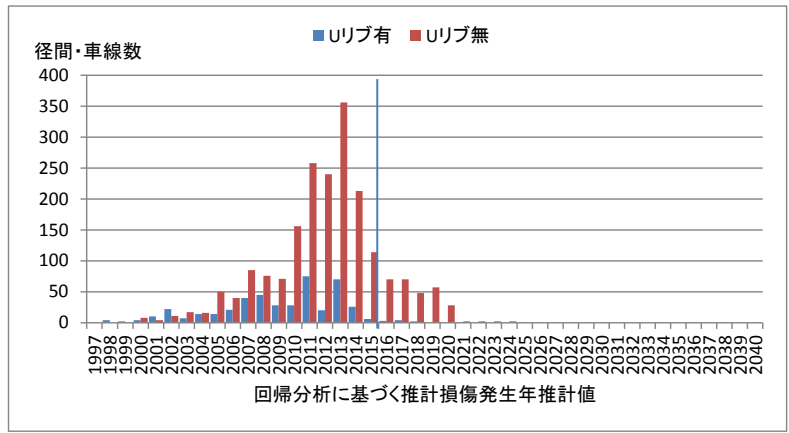


図 U-リブの推計損傷発生年

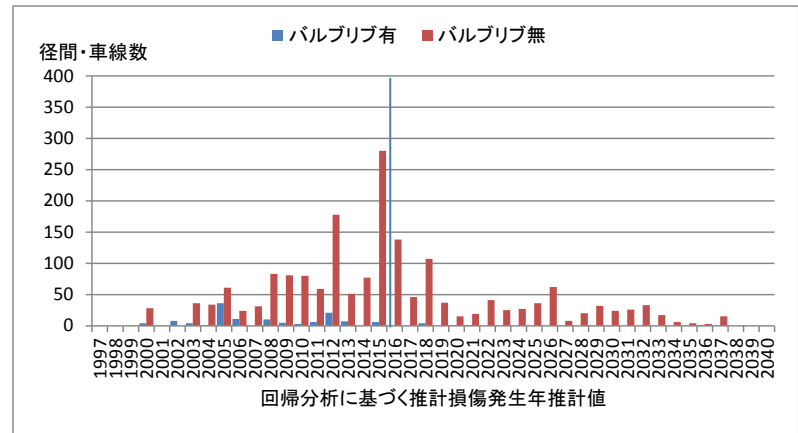


図 バルブリブの推計損傷発生年

ライフサイクルコストの検討

【目的】

先に検討した鋼床版の亀裂進展の劣化モデルに基づき、大規模修繕を考慮したライフサイクルコスト評価モデルを構築する。

【検討概要】

- ① 鋼床版Uリブを対象に、大規模修繕を実施した場合、通常修繕で対応した場合のライフサイクルコストを計算し、大規模修繕、あるいは通常修繕が選択される条件について検討する。
- ② 計算期間は2016年から2115年までの100年間とし、大規模修繕を2020年(事業期間：2015年から2030年)に実施すると仮定して大規模修繕時のライフサイクルコストを径間単位に計算する。
- ③ 通常修繕の場合は、径間単位の損傷数が20本となったときに修繕を行うと考えてライフサイクルコストを計算する。
- ④ 割引率を4%として計算する。
- ⑤ 上記条件で計算した結果に基づき、大規模修繕・通常修繕が選択される条件を整理する。

シナリオ		説明
通常修繕 シナリオ	対象	□ 計算期間内に損傷が発生する径間(Uリブ形式の径間に限定)
	施工	□ 交通規制を伴わず、吊足場による修繕を実施する。
	施工単価	□ 過去の実績に基づき設定する。
	実施時期	□ 所定の損傷数に到達した時点で補修を実施 所定の損傷数:20本/径間
大規模修 繕シナリオ	対象	□ 計算期間内にフレッシュアップ工事が予定されている径間(Uリブ形式の径間に限定)
	施工	□ 交通規制により、床版上面からSFRCにより修繕を実施する。 □ フレッシュアップ工事時点でき裂が発生している場合には、桁下よりき裂補修を実施する。
	施工単価	□ 過去の実績に基づき設定する。
	実施時期	□ 大規模修繕時期を2020年(事業期間:2015年から2030年)

要素	説明
直接費用	<p>直接工事費、仮設備費(足場費)、(交通規制費)で構成される費用であり、管理者が直接負担する費用とする。</p>
間接費用	<p>交通規制に伴う社会的費用(渋滞損失費用、迂回費用)であり直接費用が発生することはないが、利用者に発生する費用である。</p> <p>本検討では、既に予定されているフレッシュアップ工事で大規模修繕を実施すると想定し、間接費用を考慮しない。</p>
残存費用	<p>ライフサイクルコスト計算期間の最終時点で施設に残っている価値 最終年において、損傷を全て補修するための費用と定義する。</p>
割引率	<p>ライフサイクルコストの時間効果を表現する指標であり、一般的には4%が適用される。</p>

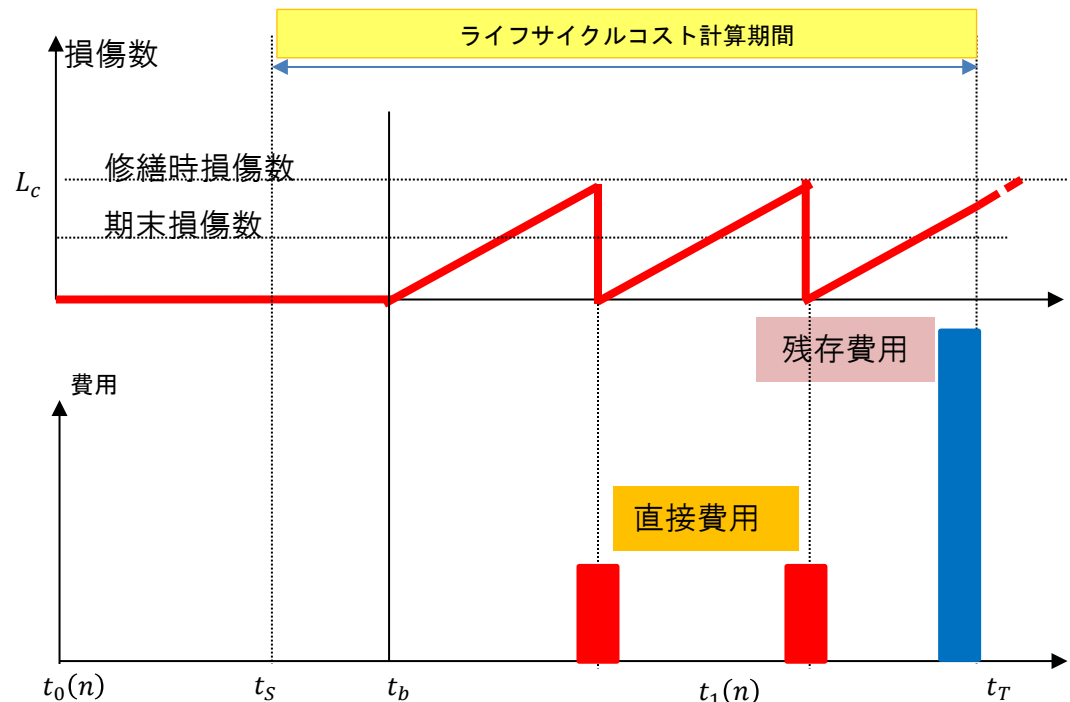
- ① 通常修繕は、桁下面から損傷単位の修繕を実施する。
- ② 修繕を行っても、同一径間の未修繕箇所では損傷が発生するとする。
- ③ 計算最終年において、残存している損傷数に対する修繕費用を残存費用とする。

直接費用 = 現在価値 (修繕時損傷数 × 修繕単価 × 修繕回数)

残存費用 = 現在価値 (期末損傷数 × 修繕単価)



ライフサイクルコスト
= 直接費用 + 残存費用



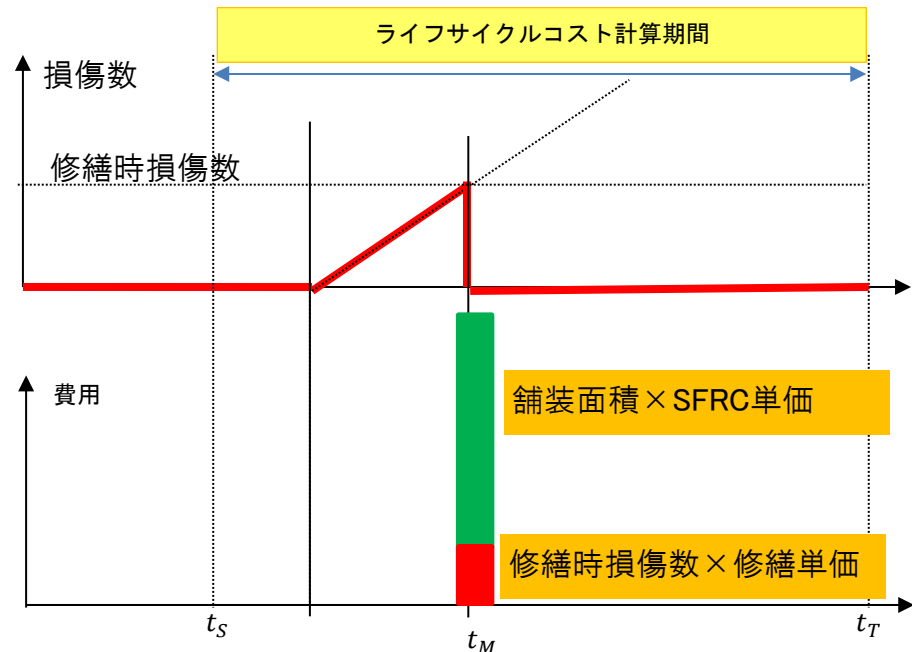
- ① 大規模修繕は、所定の大規模修繕時期に実施する。
- ② 大規模修繕時期に、亀裂が生じている場合には、桁下面から亀裂補修を実施する。
- ③ 大規模修繕後は損傷が発生しないと考える。

直接費用 = 現在価値 (修繕時損傷数 × 修繕単価 + 舗装面積 × SFRC単価)

残存費用 = 0



ライフサイクルコスト
= 直接費用

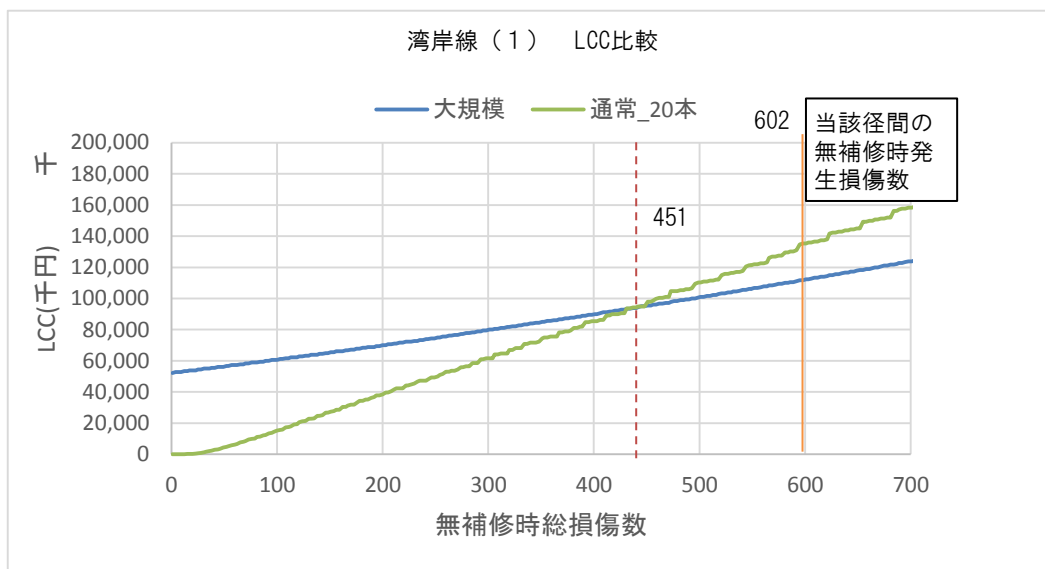


- ① 回帰分析の結果、Uリブの損傷増加に影響を与えるのは、桁形式、橋長、年平均10t換算軸数である。このうち、交通軸数のみを変化させたときに大規模修繕が選択される条件を整理した。
- ② 具体的には、100年間全く修繕を行わない場合に、交通軸数に応じて発生する総損傷数と大規模修繕時、通常修繕時のライフサイクルコストを比較し、大規模修繕が有利となる場合を確認した。

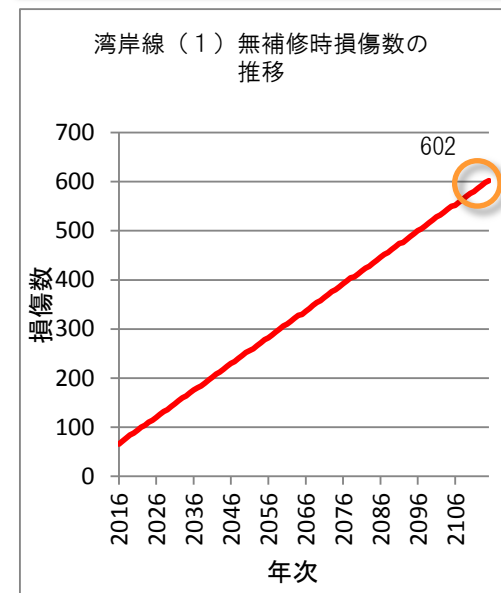
【大規模修繕が選択される場合】

- ① 湾岸線の特定の1径間における計算例をみると、当該径間では、100年間の無対策時の損傷数が451本以上になると大規模修繕が有利となるが、それ以下では通常修繕が有利である。
- ② 劣化予測に基づく、当該径間の無対策時の総損傷数は602であり、当該径間では大規模修繕が有利となる。

ライフサイクルコスト比較例



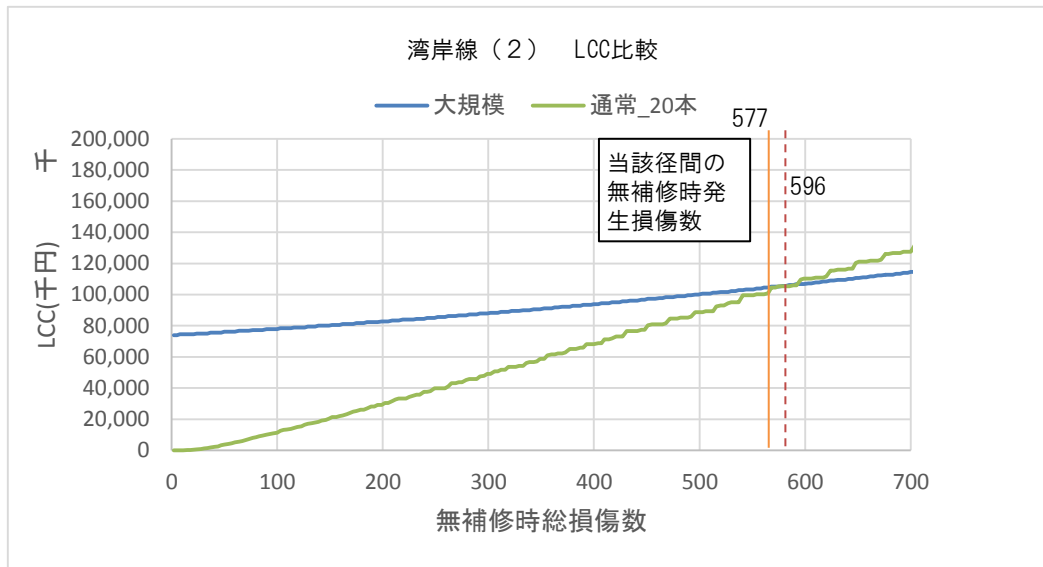
無対策時損傷数推移



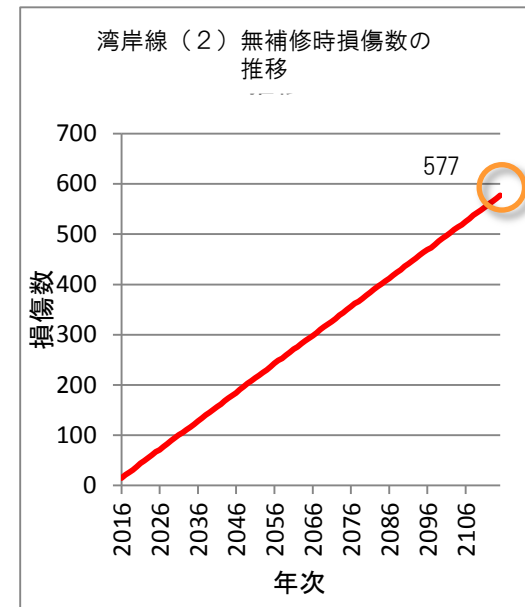
【通常修繕が選択される場合】

- ① 湾岸線の別の計算例をみると、当該径間では、100年間の無対策時の損傷数が596本以上になると大規模修繕が有利となるが、それ以下では通常修繕が有利である。
- ② 劣化予測に基づく、当該径間の無対策時の総損傷数は577本であり、通常修繕が有利となる。

ライフサイクルコスト比較例



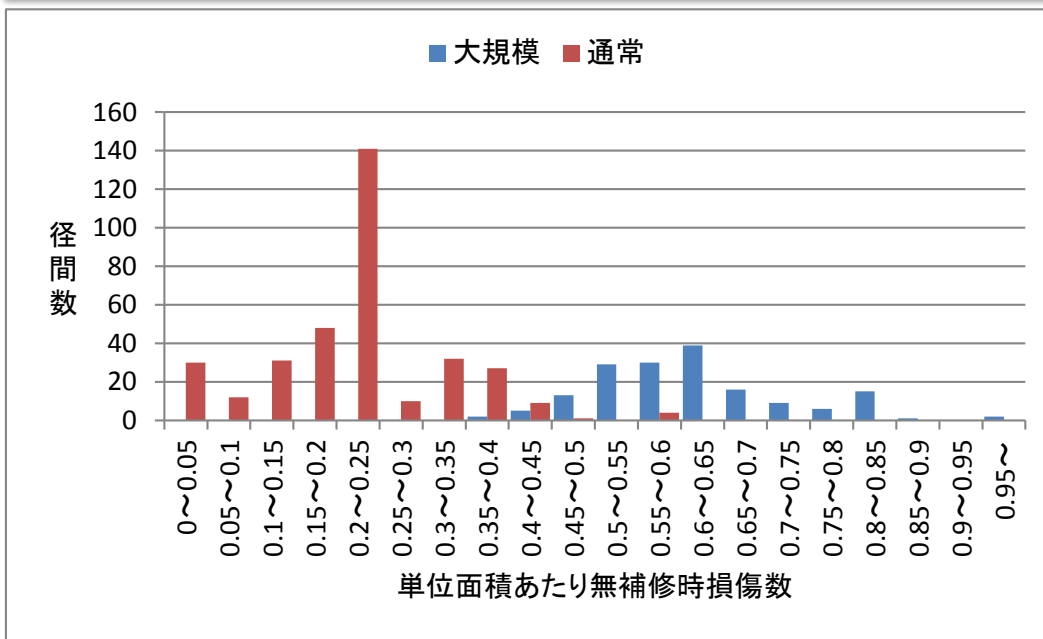
無対策時損傷数推移



修繕方法の試算(割引率4%)

- ① 単位面積あたりの無補修時の損傷数と大規模修繕、通常修繕との関係を見ると、単位面積あたりの損傷数が0.4本/m²未満であれば通常修繕、それ以上であれば大規模修繕が選択される傾向にある。
- ② 単位面積あたり無補修損傷数0.55から0.6の範囲で通常修繕が選択されているのは、神戸西宮線で橋長が30m程度の径間であるが、ライフサイクルコストは大規模修繕と通常修繕がほぼ同等で通常修繕が選択されており、短径間のため単位面積あたりの損傷数が多く分類されたことが考えられる。

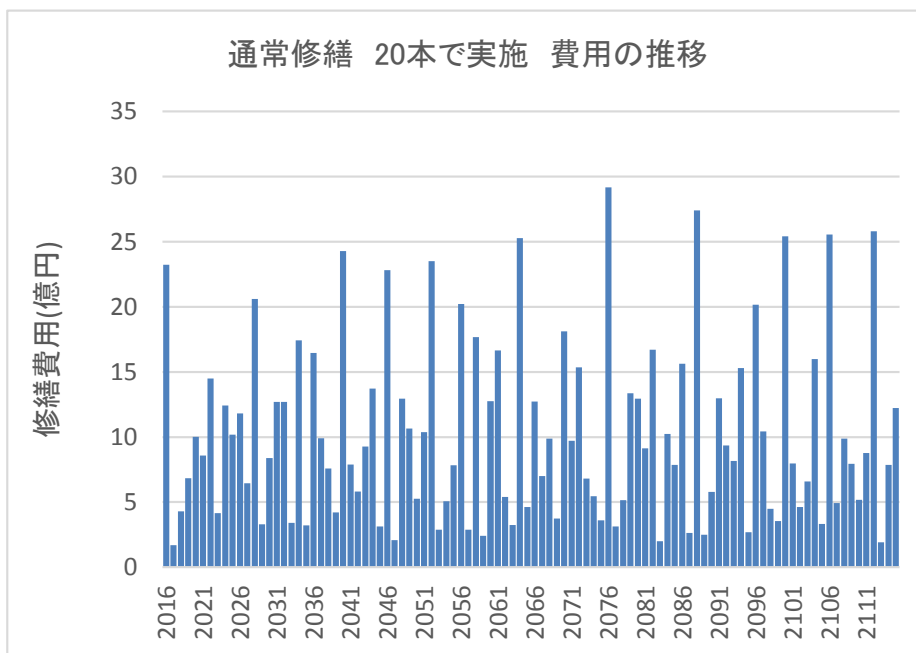
無対策時総損傷数と最適修繕方法の径間数分布



通常修繕時の費用の推移

- ① Uリブ形式の径間において、大規模修繕と通常修繕に区分し、通常修繕に係る毎年の費用の推移を整理した。
- ② 最大で30億円の費用が必要な年もあるが、概ね10億円/年程度となる。
- ③ このように、ライフサイクルコスト評価モデルにより、維持管理計画における必要予算規模の推計への活用も考えられる。

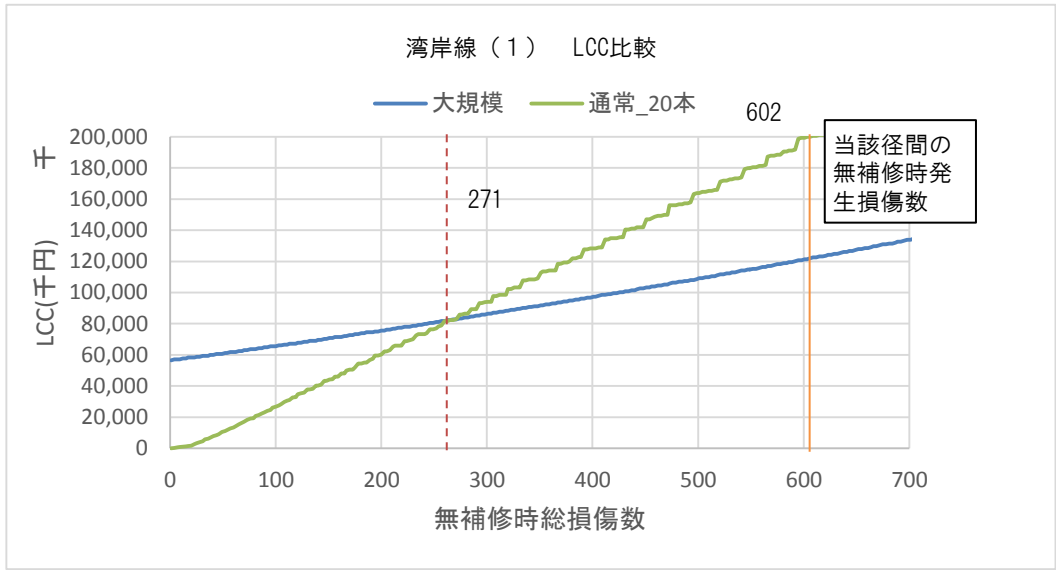
通常修繕の場合の費用の推移



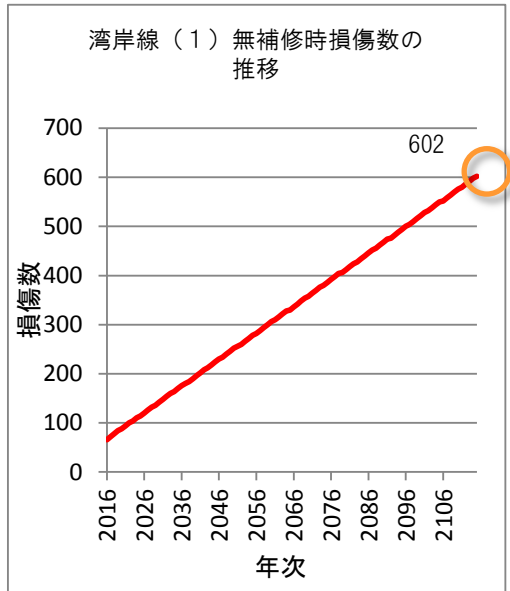
大規模修繕が選択される条件の試算(割引率2%)

- ① 湾岸線の特定の1径間における計算例をみると、当該径間では、100年間の無対策時の損傷数が271本以上になると大規模修繕が有利となるが、それ以下では通常修繕が有利である。
- ② 劣化予測に基づく、当該径間の無対策時の総損傷数は602であり、当該径間では通常修繕が有利となる。

ライフサイクルコスト比較例



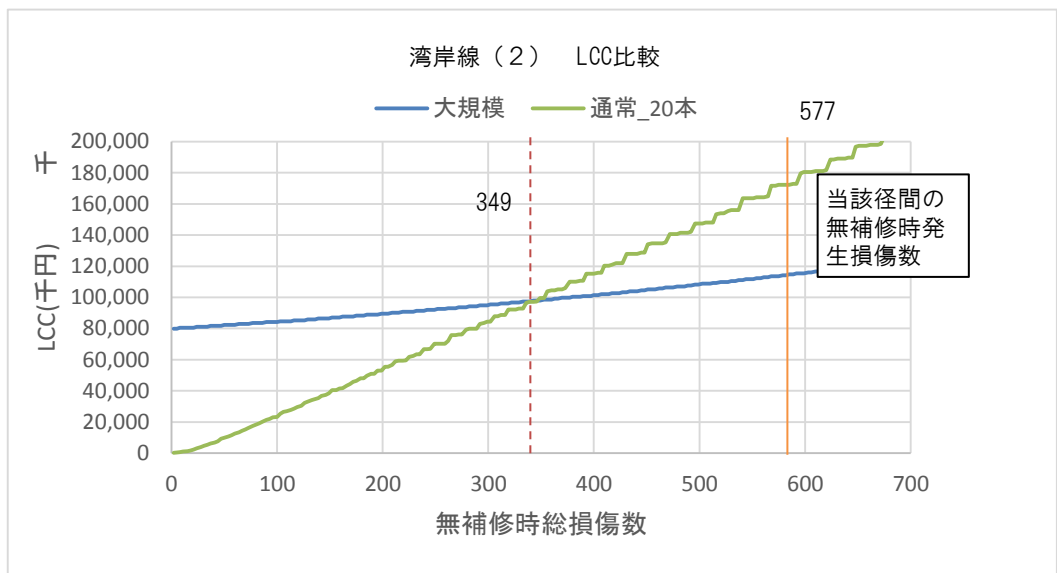
無対策時損傷数推移



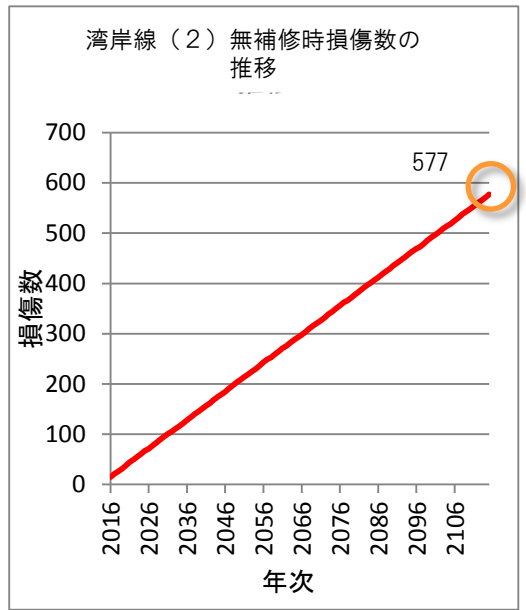
大規模修繕が選択される条件の試算(割引率2%)

- ① 当該径間では、100年間の無対策時の損傷数が349本以上になると大規模修繕が有利となるが、それ以下では通常修繕が有利である。
- ② 劣化予測に基づく、当該径間の無対策時の総損傷数は577本であり、大規模修繕が有利となる。
- ③ 割引率が4%の場合には、通常修繕が選択されていたが、2%で評価すると大規模修繕が選択された。

ライフサイクルコスト比較例

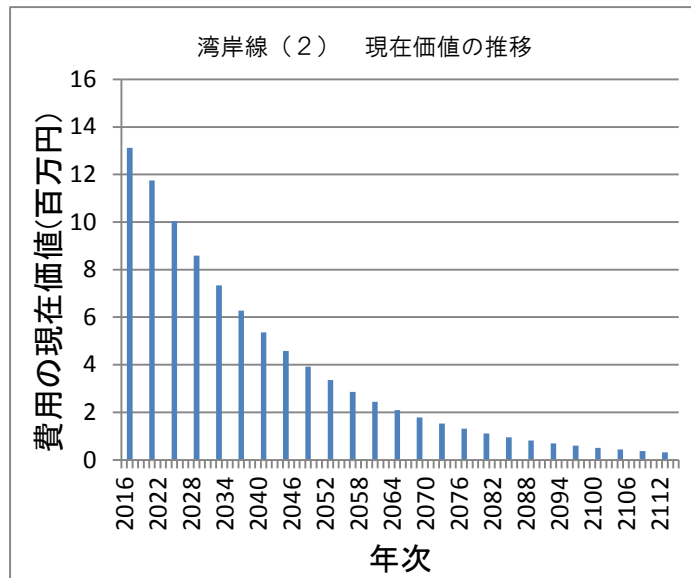


無対策時損傷数推移

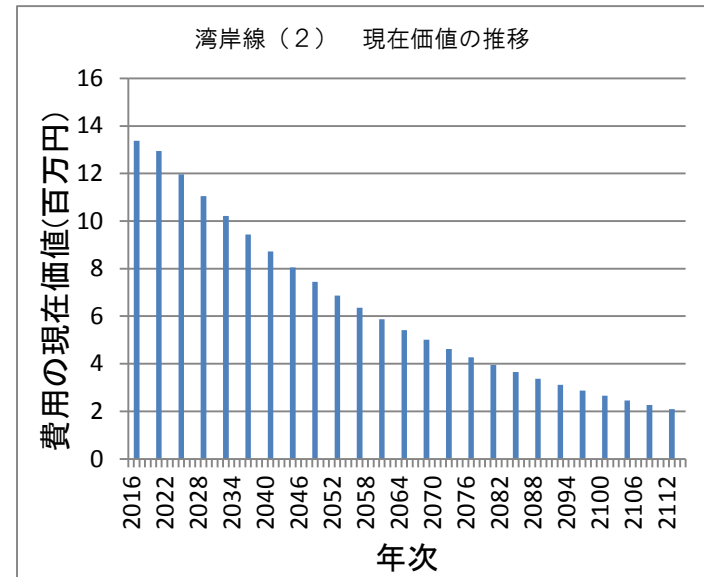


- ① 湾岸線(2)については、割引率の違いによって、選択される修繕方法が異なった。
- ② これは、割引率の違いによって、通常修繕の現在価値に差が生じ、割引率4%の場合は、2%と比較して将来の費用がより圧縮されることが原因である。

割引率4%



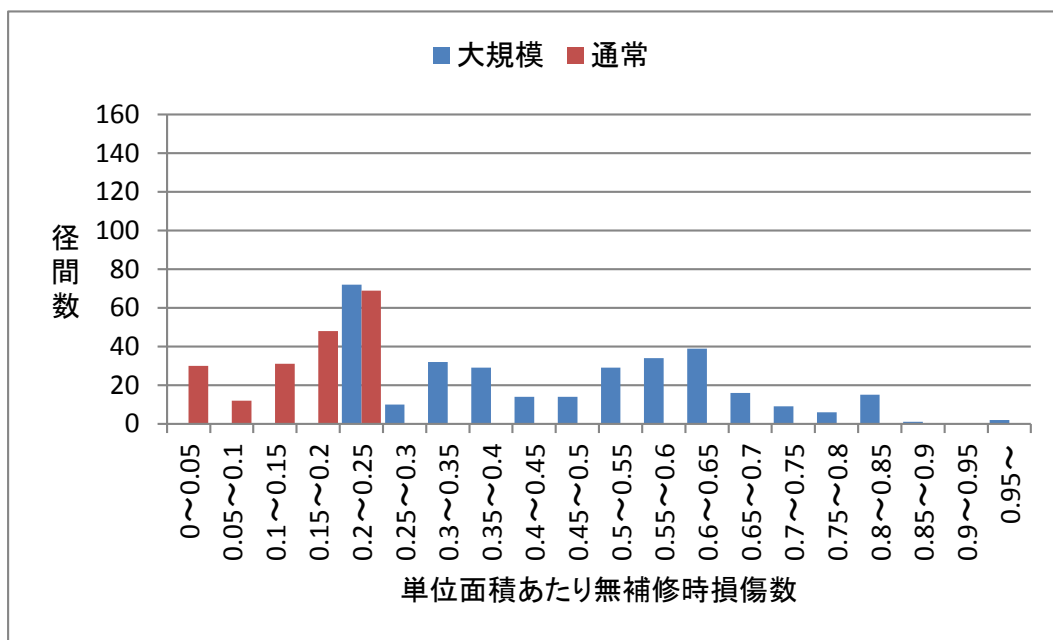
割引率2%



修繕方法の試算(割引率2%)

- ① 割引率2%の場合には、単位面積あたりの無補修時損傷数が小さい径間でも大規模修繕が選択されることが多くなる。
- ② そのため、大規模修繕は全体の6割が選択されることになり、割引率4%の場合よりも2倍程度増加する。

無対策時総損傷数と最適修繕方法の径間数分布



【劣化予測モデル】

- ① 鋼床版亀裂に着目し、劣化要因を分析し、リブ形式別の劣化予測モデルの構築と妥当性について確認した。
- ② 相関分析の結果、年平均10t換算交通軸数や、構造形式など複数の劣化要因を抽出でき、それらを説明変数とする劣化予測モデルを構築することができた。
- ③ 劣化モデル構築に用いた鋼床版亀裂損傷データベースが、整備されて10年程度であり、劣化予測結果は、この期間内の損傷傾向を強く反映している。
- ④ 今後、精度向上を図るためには、損傷発生状況を継続して記録し、より正確な損傷進展モデルを構築することが必要と考えられる。

【ライフサイクルコスト評価モデル】

- ① Uリブ形式の径間を対象に、大規模修繕と通常修繕の概念を取り入れたライフサイクルコストの理論的な評価モデルを構築し、ライフサイクルコストの視点で修繕方法の優位性を確認した。
- ② 修繕方法の優位性は、大規模修繕時期や、計算期間内に発生する損傷数に依存しており、試算の結果、約3割で大規模修繕が選択され、ほぼ実際の大規模修繕事業と一致している。
- ③ 今後は、径間毎の施工条件や大規模修繕実施時期などを踏まえ、モデルの精度の検証を行い、維持管理計画策定に活用していくことが考えられる。

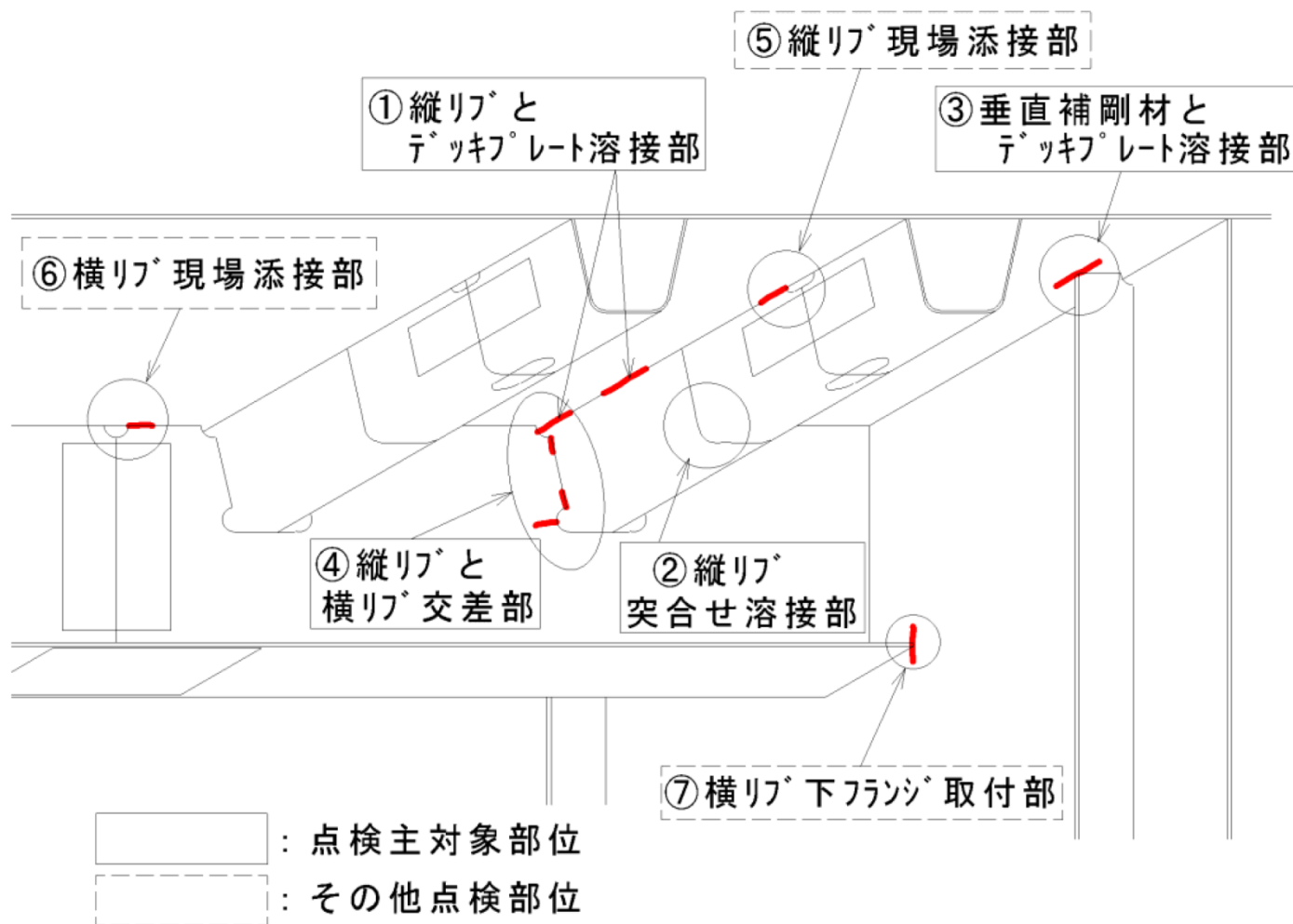


図-1.1 点検対象の溶接線の例

出典: 鋼床版疲労損傷調査要領(案)(H17.8)