

日常点検から見た伸縮継手の損傷予測に関する一考察

A CONSIDERATION ON DAMAGE PREDICTION FOR THE EXPANSION JOINTS
BASED ON DAILY INSPECTION DATA

山口 良弘*・村上 睦夫**・黒崎 剛史***・岩崎 義一****・吉川 紀****・栗田 章光****

Yoshihiro YAMAGUCHI, Mutsuo MURAKAMI, Tsuyoshi KUROSAKI,
Yoshikazu IWASAKI, Osamu YOSHIKAWA and Akimitsu KURITA

*工修 阪神高速道路公団交通環境室(〒558-8585 大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

**工修 大阪市立大学大学院工学研究科後期博士課程(〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

***正会員 財団法人阪神高速道路管理技術センター(〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7)

****工博 大阪工業大学工学部都市デザイン学科(〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

In this study, in order to clarify the affecting factors for the damages of the expansion joints, attributing data such as structural systems and linear elements were matched up with the data from the inspection data of each lane. As a result, some significant findings came out from this study as follows. :

1) The significant differences were observed in different kinds of bridge beams, the years elapsed, and the traffic volume heavy vehicles. 2) The high damage ratios were observed at the connecting parts between PC girders, and also RC and steel girders.

From these results, the direction of maintenance to reduce damages to the entirety of each continuous elevated highway bridge was clarified.

Key Words : Highway bridge, Expansion joint, Damage factor, Multi-variable analysis, Maintenance management

高架橋, 伸縮継手, 損傷要因, 多変量解析, 維持管理

1. はじめに

阪神高速道路は大阪, 神戸を中心とする阪神地域の道路事情を緩和し, 市民生活の向上と都市機能の維持増進に役立つことを目標として建設された自動車専用道路であり, 現在 11 路線が供用されており, 総延長 234km である. このうち, 高架道路部が高速道路総延長の 86%で, この内鋼桁部が 79.7%, コンクリート桁部が 20.3%となっている.

この様に都市内での道路は高架橋形式が多くなり, 桁と桁を繋ぐ伸縮継手が多く設置されている.

伸縮継手の種類は鋼製で製作されたものやゴムで構成されているものなどがあり, 近年では鋼製の簡易ジョイントなど種々多様なタイプもある. 一方, 設置年数で見た場合においても, 20~30 年を越えるものもあり, この間においても交通事情が変化し, 過積載車の通過や大型車の増大などがあり, 伸縮継手そのものの耐久性が低下しているものもある.

したがって, 高架道路の維持管理に当たって伸縮継手の損傷の要因を把握し, 損傷を予測することで適切な維持管理を行うことは道路の耐久化に繋がり, 補修工事による道路サービスの停止期間が少なくなることで混雑解消など意義が大きい.

本論文は高速道路を日常的に点検し, その結果から伸縮継手の損傷実態を把握し, 損傷予測の確立に向けた検討を行うことで点検から補修への一括管理を目指すための基礎資料を得ることを目的とした検討結果を報告するものである.

2. 伸縮継手点検の概要

(1) 点検・補修のフロー

点検の主な目的は異常・損傷の早期発見により, 迅速な対応を行うことで, 安全かつ円滑な交通を確保し, 第三者への傷害の防止を図ることであり, 構造物が常に良好な状態を維持するために必要な基礎資料を得ることである.

点検は, 日常点検, 定期点検, ならびに臨時点検で構成されており, 日常点検は主として巡回車による路上点検であり, 伸縮継手のみならず全ての道路構造物の損傷の発見に努めている. 点検結果は管理台帳に記載されデータベース化されている. 路上点検での伸縮継手の点検は, 本線部分は週に 5 回, ランプ部は週に 1 回実施している. 損傷の判定結果を受けて, 補修の要否をはじめ具体的な補修計画に着手する. 点検, 補修の流れを図-1 に示す.

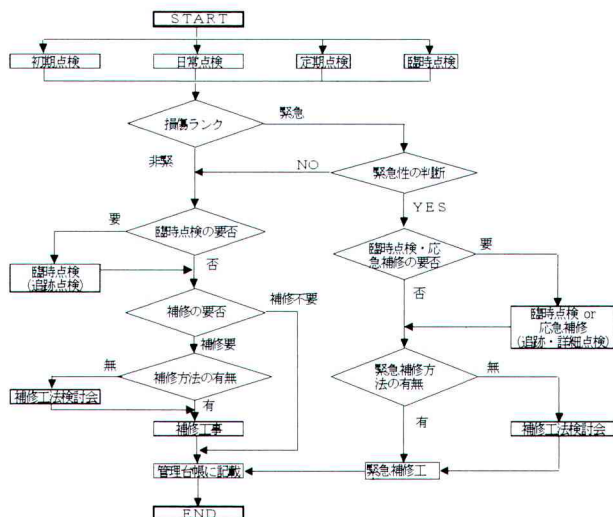


図-1 点検から補修までのフローチャート

(2) 点検項目

点検項目としては、本体の損傷、異常音、取付け部の損傷、高力ボルトの損傷、床版遊間の良否、止水工の損傷などが代表的である。

(3) 点検結果の判定

点検結果の判定に当たっては、各構造物が持つ機能・特性を十分理解したうえで、損傷が構造物の機能性、耐久性、ならびに周辺環境への影響性といった各性能に及ぼす影響度を総合的に評価する(表-1)。

表-1 日常点検の判定区分

判定区分	損 傷 状 況
④	損傷激しく道路構造物の機能低下を招き、安全かつ円滑な交通の確保が支障をきたす恐れ、また第三者への影響が大きいと考えられ、緊急で補修が必要である場合
A	損傷著しく、早急に補修が必要である場合
B	損傷あり、状況に応じて補修が必要である場合
OK	上記以外の場合

3. 伸縮継手の種類と損傷実態

3.1 伸縮継手の種類

伸縮継手の設置状況は図-2に示すように、最も多く用いられているのは鋼製ジョイント(38%)で、次いでゴムジョイント(29%)、ノージョイント(20%)、ダミージョイント、簡易鋼製ジョイント、突き合わせジョイントが各4%となっている。

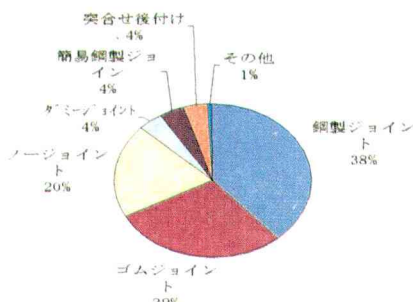


図-2 伸縮継手の設置状況(2003年度調べ)

なお、図-2、3に示すように継手種別が多くなったのは、従来から細かく分類していた事情によるもので、今回もその例を

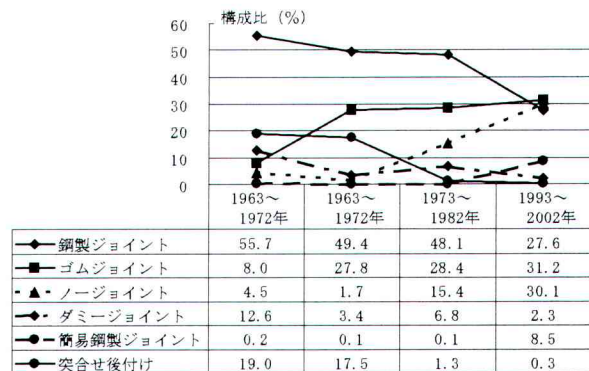


図-3 伸縮継手種別整備の推移

踏襲した。鋼製ジョイントは鋼材組み立て構造で、直接輪荷重に耐えるものである。伸縮量 50~200 mm の橋梁の比較的長大橋梁に多く使われる。ゴムジョイントは種類が多く、伸縮自在なゴム材と鋼材を組み合わせることで輪荷重を支持できるようにした荷重支持形式のものや突き合わせ形式のものがあるが、伸縮量は小さいものから比較的大きいものにまで対応できる。ノージョイントは突き合わせ目地構造の伸縮部を橋面に出さないで、連続舗装されたアスファルトなどの変形によって伸縮を確保する構造で、伸縮量が小さいものに適用される。ノージョイントより更に伸縮量の小さいものをダミージョイント(埋設ジョイント)と位置づけしている。次に、突き合わせジョイントとは舗装の施工前に設置する突き合わせ目地構造のもので、床版遊間に目地板を挿入するものや目地を鋼材で補強したものがあるが、伸縮量は小さい。また、簡易鋼製ジョイントはゴムと鋼製の中間的な機能をもったものであり、近年多く採用されるようになったのは、耐久性があることと取り替え作業が比較的容易にできるように改良されたことによるものである。

3.2 伸縮継手種別整備の推移

各種伸縮継手の10年毎の整備状況を示す構成比は図-3に示すとおりで、鋼製ジョイント、突き合わせジョイント、ダミージョイントは徐々に減少し、ゴムジョイント、ノージョイント、簡易鋼製ジョイントが徐々に増加していることが分かる。

平成14年3月の道路橋示方書では、耐震上の配慮から鋼製ジョイントを基本とした内容に改訂されているものの、主構造と同等の耐久性を確保することが困難なことや、都市内では供用中の補修や部材の更新を行う場合の工法が比較的容易であることが重要であるとの理由で、ゴムジョイントを採用することとした。

3.3 伸縮継手の損傷実態

1998.1.4~2003.10.31までの5年10ヶ月間の日常点検による損傷データを集計し、伸縮継手の損傷状況と車線別判定を行った。

(1) 損傷状況

伸縮継手本体の損傷のうち、破損(33%)と異常音(26%)で全体の6割近くを占めている。また、この2つの損傷で判定区分④(以下、④ランクと略す)判定の約51%を占めていた(図-4)。

(2) 車線別判定

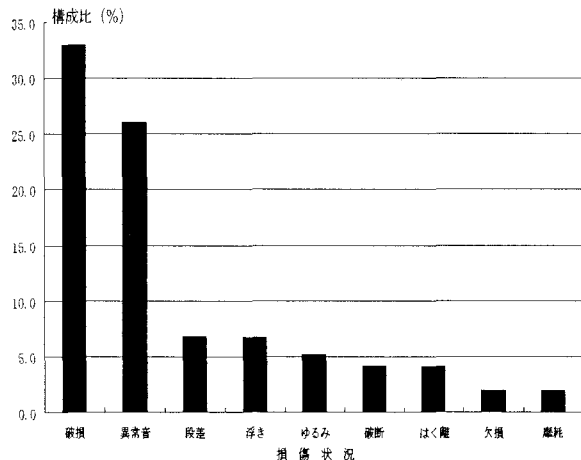


図-4 伸縮継手の損傷状況

車線別に損傷判定をみると、走行車線で全体の48.2%、追い越し車線で30.9%を占めている。判定区分で最も多いのは、Aランク(73.1%)、次いでBランク(19.5%)、Cランク(7.4%)となっている。多車線道路の車線毎の損傷状況に着目すると、2車線の走行車線に相当する第1車線の損傷が多い。これは多車線道路の場合はウイング現象があるため、第2車線～第4車線の損傷が平均化されるものと考えられる(表-2)。

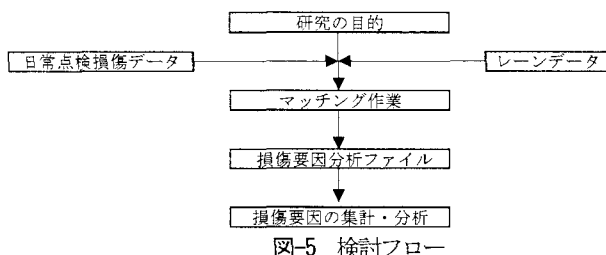
表-2 車線別判定

		判定区分 (件)				構成比 (%)
		④	A	B	統計	
2車線道路	車線					
	走行車線	158	1758	467	2383	48.2
	追越車線	106	1199	226	1531	30.9
		構成比 (%)	6.7	75.5	17.7	100
多車線道路	第1車線	31	136	46	213	4.3
	第2車線	10	97	31	138	2.8
	第3車線	16	66	17	99	2.0
	第4車線	20	81	9	110	2.2
	構成比 (%)	13.8	67.9	18.4	100	
その他		23	281	169	473	9.6
総計		364	3618	965	4947	100
		構成比 (%)	7.4	73.1	19.5	100

4. 損傷要因の分析手順

4.1 検討フロー

検討フローを図-5に示す。対象路線としては、データが豊富な環状線(1,159 レーン)を選定した。



まず、収集した各種の豊富なレーンデータをチェックした後、それぞれのレーンデータをいくつかのキー項目を用いて1つのレコードに統合するとともに、新たに交通量などのデータを転記、付加することでレーン単位のファイルを作成した。さら

に、日常点検による損傷データを付加することで損傷要因と損傷内容が加わった損傷要因ファイルを作成した。

環状線および全路線の損傷データはともにサンプリング調査ではなく、全数調査を実施して求めたもので、統計処理上クロス集計を行って損傷要因を抽出した。したがって、環状線と全路線とは全体数(母数)の違いはあるものの全数調査から求められた損傷要因の比率は、統計学上同じ割合で評価されるものと考えられ、以後の本文では、環状線と全路線の損傷要因を比較しながら環状線の損傷要因を明らかにした。

4.2 データの内容

検討に用いたデータの名称とその内容は次の通りである。

- ① 属性データ・・・車線区分、表層舗装種別、表層舗装年次、平面線形、縦断勾配 など
- ② 上部工データ・・・竣工年次、桁区分、床版種別、桁種別、床版厚 など
- ③ 伸縮継手資産データ・・・竣工年次、伸縮継手種別、伸縮継手型式 など
- ④ 伸縮継手補修歴データ・・・1989年～2002年までの補修記録
- ⑤ 日常点検データ・・・1998.1.4～2003.10.31までの5年10ヶ月分のレーン損傷データ(キロポスト、点検年月日、判定区分、損傷状況)
- ⑥ 交通量データ・・・1日交通量、1日高車交通量、1日平均占有率、1日平均走行速度(2003年6月17日の1日)

なお、①～⑤までのデータについてはレーン単位で整備されているが、⑥については検知器設置箇所をレーンに対応させた。また、高車交通量とは超音波の跳ね返り時間差を利用したトラフィックカウンターを用いて測定した交通量で、車高2.3m以上のものを高車という。一般的に、高車の場合を料金大型車と見なしているものの料金大型車の台数と一致するものではなく、高車の方が料金大型車よりも多く検知される。

損傷要因データのレーンレコードのイメージを図-6に示した。レーン単位の損傷要因データに日常点検で見つかった損傷に関するデータを付加したものである。当然、損傷がない場合は付加されていないし、複数個見つかった場合は古いものからソートして付加した。

管理番号	}	レーン単位
属性データ		
上部工データ		
継手資産データ		
継手補修歴データ		
交通量データ		
最新の補修内容		
日常点検データ (損傷データ)		
1,		
2,		
.		
n		

図-6 損傷要因ファイルのレコード内容

(注)・損傷率=該当要因レーンにおける損傷件数を1年分に
換算/該当要因レーン数
・1年分に換算=損傷件数×(12/70ヶ月)

4.3 損傷要因の集計

全路線データ(マッチング出来たもの: 5,771 レーン) について損傷要因ファイルを作成し, 集計することで損傷要因に関するデータ分析を行った。

(1) 損傷率について

損傷要因別にレーン単位で損傷率⁽⁸⁾を見る。

① 桁区分による損傷率 (図-7, 表-3)

損傷率はPC桁(0.104 件/年・レーン)が最も高く, 次いで鋼桁(0.065 件/年・レーン), RC桁(0.019 件/年・レーン)となっている。全路線データでも概ね同じような傾向である。

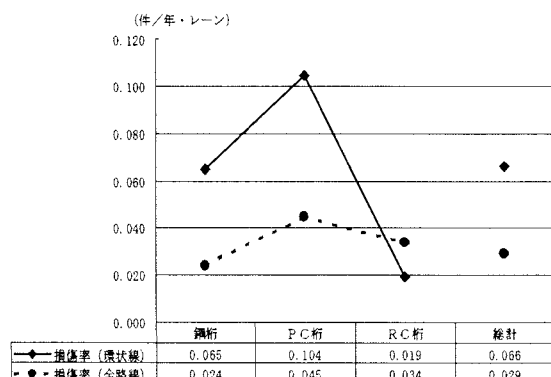


図-7 桁区分による損傷率

表-3 桁区分/伸縮継ぎ手種別

桁区分	鋼製ジョイント	ゴムジョイント	簡易鋼製ジョイント	ノージョイント	ダミージョイント	総計
鋼桁	1329	369	186	175	3	2062
PC桁	89	200	14	109	83	495
RC桁	20	20		8	50	98
総計	1438	589	200	292	136	2655

② 床版種別による損傷率 (図-8)

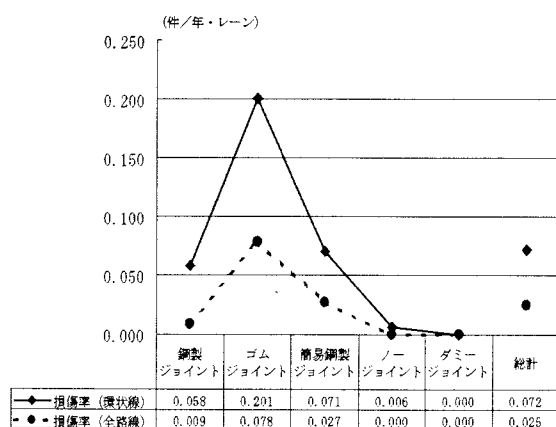


図-8 床版種別による損傷率

損傷率はPC桁上の床版(0.106 件/年・レーン)が最も高く, 次いでRC床版(0.066 件/年・レーン), 軽量床版(0.038 件/

年・レーン ただし件数は少ない)となっている。全路線データで見ても概ね同じような傾向である。

③ 伸縮継手種別による損傷率 (図-9)

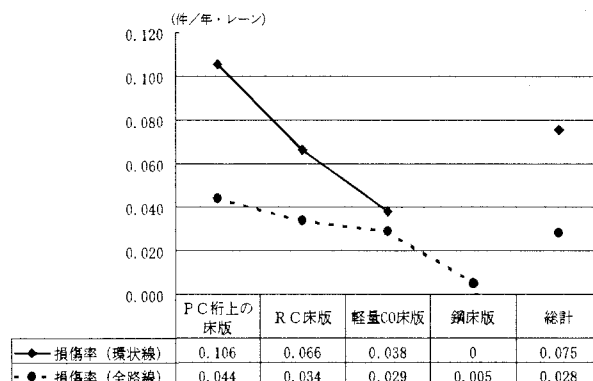


図-9 伸縮継手種別による損傷率

損傷率はゴムジョイント(0.201 件/年・レーン)が最も高く, 次いで簡易鋼製ジョイント(0.071 件/年・レーン), 鋼製ジョイント(0.058 件/年・レーン)となっている。全路線データで見ても概ね同じような傾向である。

小 ← 【損傷率】 → 大
(平均値)

鋼桁	【桁区分】	PC桁
鋼床版	【床版種別】	RC床版 PC桁上の床版
I桁	【桁種別】	箱桁 T桁
緩和曲線	【平面線形】	曲線 直線
上り勾配	【縦断勾配】	下り勾配
鋼製ジョイント	簡易鋼製ジョイント【伸縮継手種別】	ゴムジョイント

図-10 要因別に見た損傷率の一覧

以上の結果から, 下記のことが判明した。

i) 環状線と環状線を除く全路線では概ね同じような傾向が見られた。

ii) 要因のカテゴリー別に見ると損傷率には極めて大きな差異が見られた。

i) の結果から, 以下ではデータの豊富な環状線について分析を進めた。要因別の損傷率を整理したものを図-10に示す。

これら集計した結果から, 伸縮継手の損傷率の高い要因をカテゴリーでみると, 桁区分ではPC桁, 床版種別ではPC桁上の床版, 桁種別ではT桁, 平面線形では直線部, 伸縮継手種別ではゴムジョイントということになった。一方, 損傷率の低い要因をカテゴリーでみると, 桁区分では鋼桁, 床版種別では鋼床版, 桁種別ではI桁, 平面線形では緩和曲線部, 伸縮継手種別では鋼製ジョイントということになった。

(2) 損傷負荷

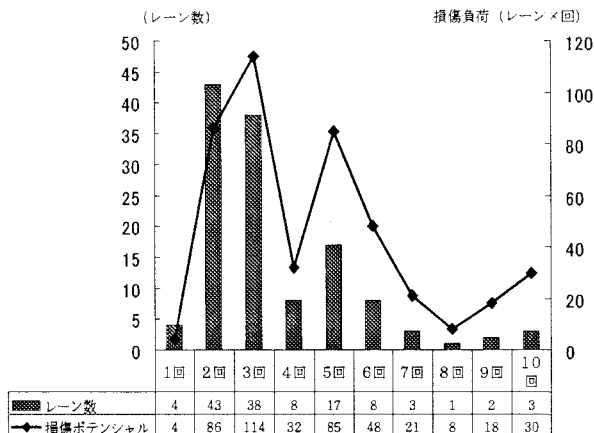


図-11 損傷負荷

(損傷回数) × (レーン数) を損傷負荷と定義すると、環状線の損傷回数別の損傷ポテンシャルは図-11 のようになる。伸縮継手の損傷率を高くしているのは同一レーンで1回のみの損傷ではなく2回から5回、6回と損傷を繰り返していることが原因であることが分かった。

(3) レーンとレーンのつながりからみた損傷率

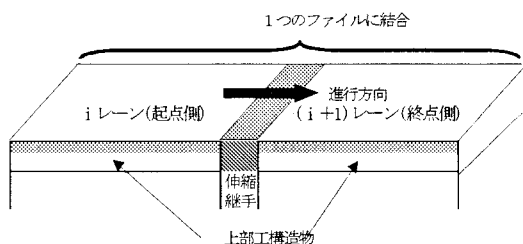


図-12 連続するレーンの結合 (イメージ)

伸縮継手はレーンとレーンの間に位置している(図-12)。すなわち、当該レーンとその次のレーンの下部構造などとの組み合わせによって振動などの波形、伝達が異なり伸縮継手の損傷率に差異が見られることが考えられる。そこで、図-12に示したように、2つの連続するレーンデータを結合させたファイルを作成して分析を行った。本研究の対象構造物は都市内の連続高架橋という特徴から異種の結合データ件数は少ない(同種結合の約1/10~1/20)。

① 桁区分について (表-4、図-13)

表-4 連続するレーンの損傷率 (桁区分)

桁区分 (i→i+1)	損 傷 回 数										損傷率
	0回	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	
鋼桁-鋼桁	69	4	30	19	6	7	3	2	0	2	724
PC桁-PC桁	197		6	15	2	8	5	1	1		226
RC桁-RC桁	157		1								158
(同種レーンの連続)	1000	4	37	34	8	15	8	3	1	2	1117
鋼桁-PC桁	15		3								18
鋼桁-RC桁	8		1	1							10
PC桁-鋼桁	14			1		1					16
PC桁-RC桁	14										14
RC桁-鋼桁	8			1						1	10
RC桁-PC桁	14										14
(異種レーンの連続)	73	0	4	3	0	1	0	0	0	0	82
総計	1076	4	41	37	8	16	8	3	1	2	1199

- ・連続する桁区分で最も損傷率の高いのは、RC桁(起点側)と鋼桁(終点側)の接続であり(以下、同じ)、次いでPC桁とPC桁、鋼桁とRC桁、PC桁と鋼桁、鋼桁と鋼桁、鋼桁とPC桁の順となっている。

- ・件数の多い同種の桁同士の連続をみると、PC桁とPC桁の損傷率が極めて高く、次いで鋼桁と鋼桁であり、RC桁とRC桁ではほとんど損傷は見られなかった。

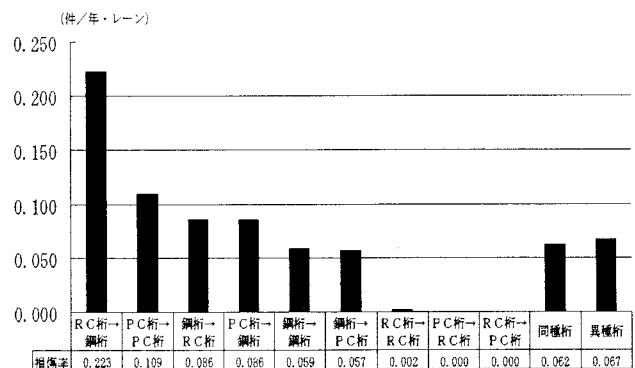


図-13 連続する桁区分との関係でみた損傷率

② 平面線形について(図-14)

- ・連続する平面線形で最も損傷率の高いのは、緩和曲線から曲線で、次いで直線と直線、曲線から直線、直線から曲線、曲線と曲線、緩和曲線と緩和曲線と続いていた。
- ・件数の多い同種の平面線形同士の連続をみると、直線と直線の損傷率が最も高く、次いで曲線と曲線、緩和曲線と緩和曲線となっていた。直線部では速度が高くなることから、伸縮継手の損傷要因の1つとして走行速度が考えられそうである。

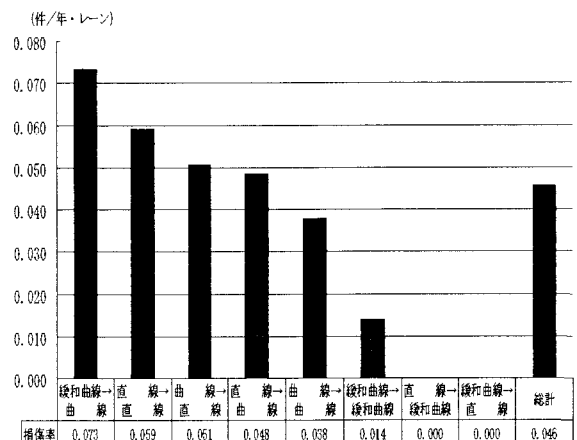


図-14 連続する平面線形との関係でみた損傷率

③ 縦断勾配について

縦断勾配の連続で最も損傷率の高い組み合わせは下りと下り(0.050 件/年・レーン)、次いで上りと上り(0.043 件/年・レーン)、上りから下り(0.025 件/年・レーン)、下りから上り(0.021 件/年・レーン)となった。同種の組み合わせより異種の組み合わせの方が損傷率は低くなった。このことは平面線形で述べたように損傷要因として速度が関係していると推察できる。

5. 損傷要因の分析

5.1 多変量解析による分析

質的な外的基準を質的な要因で予測、あるいは判別する手法である数量化Ⅱ類を用いて損傷要因の強さを分析した。ここでは外的基準に損傷の有無(最終補修以降の損傷の有無)を

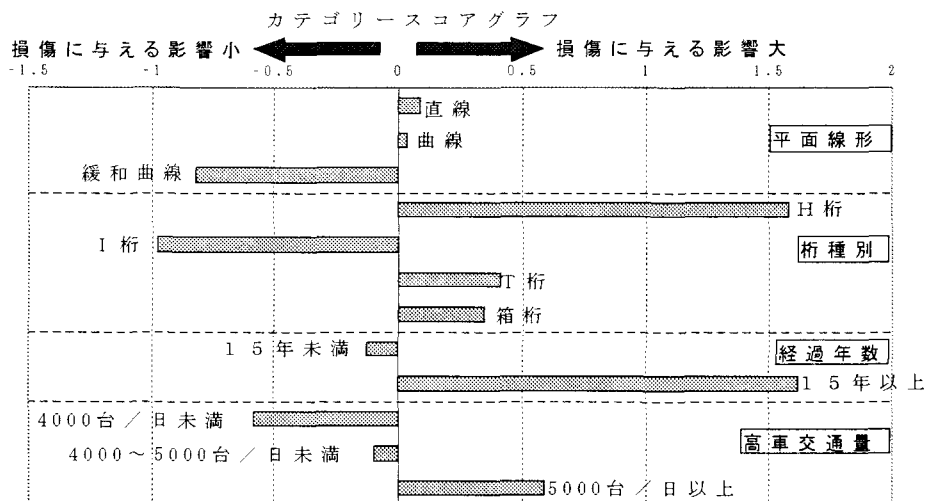
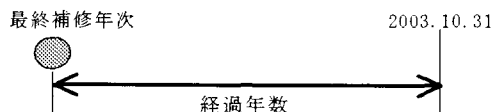


図-15 カテゴリースコアグラフ

用いた。

環状線全線のデータのうち、分析の精度を高めるためにデータ件数の少ないカテゴリー、不明データ、説明変数同士で相関の高い変数などを除いて分析を行った。有効データ件数は595レーンであった。なお、経過年数としては最終補修竣工から2003年10月までの年数とした。



高車交通量とは概ね大型車と見なされる車両の1日当たりの交通量である。表-4に分析に用いた説明変数とカテゴリーとその損傷の有無件数を示した。また、分析結果である伸縮継手の損傷に対する影響の強さを表すレンジ、およびカテゴリースコアをそれぞれ表-5、表-6、図-15に示した。なお、説明変数を各種検討したが、最も中率が高く、多様な要素が盛り込まれている4変数を選んだ。

表-5 群別集計表およびカテゴリースコア

説明変数	カテゴリー名	n	損傷の有無	
			有り	無し
平面線形	直線	338	46	292
	曲線	212	25	187
	緩和曲線	45	1	44
桁種別	H桁	20	6	14
	I桁	179	7	172
	T桁	80	13	67
	箱桁	316	46	270
経過年数ランク	15年未満	552	61	491
	15年以上	43	11	32
高車交通量ランク	4000台/日未満	159	10	149
	4000～5000台/日未満	237	29	208
	5000台/日以上	199	33	166

表-6 レンジ

項目名	レンジ	偏相関	偏相関検定
平面線形	0.9019 4位	0.0580 4位	□
桁種別	2.5548 1位	0.1662 1位	【**】
経過年数ランク	1.7420 2位	0.1151 3位	【**】
高車交通量ランク	1.1769 3位	0.1184 2位	【**】

(注) 【**】は5%で有意

(1) 判別的中率

損傷の有無を判別する割合を示す判別的中率の考え方は、
判別的中率=(実績群と推定群が一致した件数)×100/(全件)

である。判別の中率は76.3%であり、比較的良好な値であった(図-16)。

【損傷実績】	【推計結果】
損傷有り	損傷有り 36 6.1 【的中】
	損傷無し 36 6.1 【誤】
損傷無し	損傷有り 105 17.6 【誤】
	損傷無し 418 70.2 【的中】
	(レーン) (%)

図-16 損傷実績と推計結果

(2) 考察

- ① 伸縮継手の損傷に対する最も強い要因は桁種別であり、次いで補修からの経過年数、高車交通量、平面線形と続いていた。
- ② 平面線形は損傷に対する影響は比較的小さかった。
- ③ 偏相関係数は概ねカテゴリーレンジと一致した。検定結果も平面線形以外は5%で有意であった(表-6参照)。
- ④ 説明変数別のカテゴリーで損傷に対する影響が大きいのは以下のものであった。
 - i) 平面線形では「直線」、「曲線」は影響が大きく、「緩和曲線」は影響が小さかった。
 - ii) 桁種別では「H桁」、「T桁」、「箱桁」は影響が大きく、「I桁」は影響が小さかった。ただし、「H桁」は件数が少なかった。
 - iii) 補修からの経過年数では「15年以上経過したレーン」は影響が大きく、「15年未満の経過年数レーン」は影響が小さかった。
 - iv) 高車交通量では「5000台/日以上」は影響が大きく、「5000台/日未満」は影響が小さかった。

5.2 損傷要因分析結果のまとめ

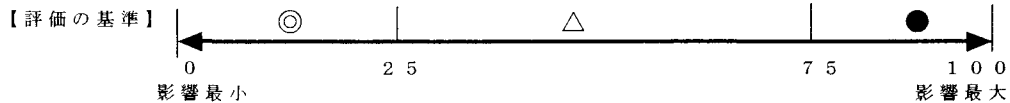
損傷要因に関する分析を対象路線、分析方法を変えた集計結果の一覧を表-7に示す。これを見ると、概ね5.1で述べた多変量解析結果と一致するが、それ以外で損傷に対する影響が大きい要因は次の通りである。

- ・床版種等ではP C桁上の床版は影響が大きく、鋼床版は影響が小さかった。

表-7 損傷要因分析結果一覧

説明変数	カテゴリー	損傷率 (全路線データ)	損傷率 (全環状線データ)	損傷に対する影響 (数値化Ⅱ類)
桁区分	P C 桁	●	●	●
	R C 桁	△	◎	△
	鋼桁	◎	△	◎
床版種別等	P C 桁	●	●	—
	R C 床版	△	△	—
	鋼床版	◎	◎	—
桁種別	H 桁	●	●	●
	I 桁	◎	◎	◎
	T 桁	●	△	△
	箱桁	△	●	△
平面線形	直線	●	●	●
	曲線	△	●	△
	緩和曲線	◎	◎	◎
縦断勾配	下り	●	●	—
	上り	◎	◎	—
伸縮継手種別	鋼製 J	◎	◎	◎
	簡易鋼製 J	△	△	△
	ゴム J	●	●	●
	ノー J	◎	◎	—
	ダミー J	◎	◎	—
交通量	20000台/日未満	—	●	—
	20000～25000 #	—	●	—
	25000～30000 #	—	●	—
	30000台/日以上	—	◎	—

(注) ・ 損傷率については影響最小を0、最大を100とした場合の相対的な評価



・ 数値化Ⅱ類については影響最大を●、影響最少を◎、その他を△とした

- ・ 縦断勾配では下り勾配は影響が大きく、上り勾配は影響が小さかった。
- ・ 伸縮継手種別ではゴムジョイントは影響が大きく、鋼製ジョイントは影響が小さかった。
- ・ 交通量については明確な差異は見られなかったが、高車交通量については5000台/日以上になると損傷率は高くなっている。

6. 伸縮継手の維持管理の適正化に向けた提案

本研究から得られた成果を基に伸縮継手の損傷を少なくするための維持管理の方向性を提案する。当然のことながら地形、工費、交通サービスへの影響など総合的に勘案することが重要である。

① 建設時

- ・ 伸縮継手種別から見ると、耐久性のある鋼製ジョイントを用いる。
- ・ 次善の策として簡易鋼製ジョイントの使用を視野に入れる。
- ・ 桁種別から見ると、伸縮継手の損傷率の低いI桁の使用を第1に視野に入れる。反対に損傷率の高い箱桁の使用は詳細な損傷要因を明確にし、伸縮継手に改良を加える必要がある。

② 補修時

- ・ 一括補修から重点補修へ方針変更する場合の留意点について論じる。

図-16でみたように、カテゴリースコアを用いた判別式を用いることによりある程度の精度で損傷の有無を判別、予測できる。問題は判別結果が「損傷無し」となっているが、実績として「損傷有り」となっているレーン、すなわち的中しなかったレーンの補正方法である。これを防ぐ

表-8 損傷要因の推計結果と実績

要因	カテゴリー	推計(無し) → 実績(有り)	改善率
縦断勾配	下り (●)	32	88.9
	上り	4	
桁区分	鋼桁	31	13.9
	P C 桁 (●)	5	
	P C 桁上床版 (●)	5	
	R C 床版	30	
	軽量床版	1	
床版種別等	鋼床版	0	13.9
	鋼製・簡易鋼製	30	
	ゴム (●)	6	
伸縮継手種別	直線 (●)	26	72.2
	曲線	9	
	緩和曲線	1	
	H 桁 (●)	0	
桁種別	I 桁	4	0.0
	T 桁	2	
	箱桁 (●)	30	
	箱桁 (●)	30	
経過年数ランク	15年未満	35	2.8
	15年以上 (●)	1	
高車交通量ランク	4000台/日未満	10	13.9
	4000～5000台/日未満	21	
	5000台/日以上 (●)	5	

(注) ・ ● 損傷率の最も高いカテゴリー (レーン数) (%)

ためには、表-8のように損傷要因として最も大きなカテゴリーについて追跡を行い、推計で「損傷無し」になっているが実績では「損傷有り」の割合(以下、改善率と定義する)の最も高いカテゴリーで補正する方法が考えられる。

$$\text{改善率} = \frac{\text{損傷率の最も大きなカテゴリー件数}}{\text{推計(無し) → 実績(有り) 件数}}$$

すなわち、判別結果が「損傷無し」のレーンについて改善率の最も高い要因(カテゴリー)について「損傷有り」とすることにより大幅に誤判断を防ぐことが可能となる。

以上のことを念頭に、以下では3つの考え方を基に補修を要するレーン数を予測した。

- 考え方1・・・重大な損傷に対する補修は即時行うこととし、一括補修レーン数は最小にする(表-9)。
- 考え方2・・・考え方1に改善率を考慮した安全性を加味する(表-10)。

表-9 補修を要するレーンの見直し（最少補修レーン）

推計結果	実績(レーン)	考 え 方	補修レーン	補修不要レーン
有り	有り：36	実績(日常点検データ)	141	
	無し：105	損傷発生の可能性が高い		
無し	無し：418	実績(日常点検データ)	36	418
	有り：36			

表-10 補修を要するレーンの見直し（安全サイド）

推計結果	実績(レーン)	考 え 方	補修レーン	補修不要レーン
有り	有り：36	実績(日常点検データ)	141	
	無し：105	損傷発生の可能性が高い		
無し	無し：418	誤判断を最小にする ^(注)	234	418-234 =184
	有り：36	実績(日常点検データ)	36	
	(レーン)	(注)・下りレーン (改善率=88.9%)	(レーン)	(レーン)

iii) 考え方3・・・考え方2に、さらに伸縮継手の補修からの経過年数を10年加算する(=次回の舗装の大規模補修時期を仮定)。すなわち今後10年間に損傷の起こる可能性のあるものも今回補修することにより安全性をさらに向上させる(表-11)。

表-11 補修を要するレーンの見直し(経過年数を10年加算)

推計結果	実績(レーン)	考 え 方	補修レーン	補修不要レーン
有り	有り：70	実績(日常点検データ)	430	
	無し：360	損傷発生の可能性が高い		
無し	無し：163	誤判断を最小にする ^(注)	61	163-61 =102
	有り：2	実績(日常点検データ)	2	
	(レーン)	(注)・下りレーン (改善率=88.9%)	(レーン)	(レーン)

このような重点補修方式により、一括補修に比べ最も補修するレーンの少ない考え方1では約70%、安全サイドを考慮した考え方2では31%、10年後の損傷を予測した考え方3では17%程度補修レーン数を削減することが可能になる。

このように判別分析結果を用いた重点補修を行うことにより、一括補修に比べ、補修レーン数を大幅に削減でき、建設資材、廃材などの削減で環境への負荷を減らすことができる。また、随時に損傷レーンの補修を行うことに比べ、効率的な補修が可能になり、交通サービスを向上できるなどの長所が生じる。

損傷は繰り返し起こっているために損傷率を高めていることが明らかとなった。最初の損傷で留めておけば損傷ポテンシャルは1/5から1/20程度小さくできる(図-11参照)。

また、図-4で示したように、損傷実態をみると損傷は破損と異常音・不良音が全体の6割近くを占めている。よって補修工事に際しては周到な準備と施工を行うとともに、伸縮継手として耐久性の高い鋼製ジョイントの使用を第1に視野に入れることが重要であろう。

③ 補修の時期

補修は設置から概ね15年以降と考えてよいであろう。重大な損傷に伴う個々の補修は別として、ある程度大規模に補修する場合は5章で得られたカテゴリースコアを参照とし、損傷と判別された箇所を中心に補修することを考えることになる。

7. 結論

本研究で得られた知見を整理すると次のようになる。

- ① 伸縮継手の損傷に影響を与えている要因、及びその度合いを明らかにすることが出来た。その内容は、伸縮継手の損傷に対する最も強い要因は桁種別で、次いで補修してから経過年数、高車交通量、平面線形の順となった。
- ② 伸縮継手の損傷に影響を与えている要因は、路線別に見ると損傷率には差異が見られるが、カテゴリー別には路線別に共通した傾向が見られることが分かった。
- ③ 損傷負荷を大きくしているのは2回、3回と損傷を繰り返していることが原因である。すなわち、損傷を1回に留めておけば損傷負荷は大幅に減少することが分かった。損傷を繰り返すのは補修方法に問題があるのか、伸縮継手の種別を含めた構造に問題があるのかは今後の検討課題である。
- ④ 連続するレーンで伸縮継手の損傷率を見ると、個別のカテゴリーの組み合わせでは差異が見られるが、同種か異種かの合計で見ると差異は見られなかった。データ件数を増やして検討を深める必要がありそうである。
- ⑤ 数量化Ⅱ類による分析から、比較的高い中率で損傷の有無を予測可能であることが明らかとなった。その予測方法を用いることで、従来の一括補修方法に比べ、重点補修方法では補修レーン数を約17%から約70%削減できそうである。すなわち、従来の一括補修方法に変わる重点補修方法が有効であることを示唆できた。

8. 今後の課題

以上より、本研究に関する結果をまとめると次のようになる。

- ① 本研究では、「日常点検」から見た伸縮継手の損傷予測を行ったが、日常点検が車上からの点検であるためゴムジョイントと鋼製ジョイントの損傷判断に不統一性があることや、損傷と耐久性との関連性といったことが必ずしも明確ではないという根本的な課題を多く抱えている。そこで、今後は詳細点検や各種実験を通して、損傷と耐久性(耐用年数)および経済性の関係を明らかにするとともに、今回のような豊富な日常点検のデータを有効に活用することが、道路資産の効率的な維持管理には特に肝要と思われる。
- ② 今回、20件と数の少ないH桁のようなものによって損傷要因が変わるかどうかが検討しなかったが、今後は更にこうした個数の少ないカテゴリーの対応について検証しなければならないと思われる。
- ③ 4.2データの内容に示すように、高車交通量(路面から車高2.3mの車両交通量)を大型車交通量と見なして要因分析を行っている。すなわち、重量車両として車高の高い車両台数に着目したが、伸縮継手の損傷要因としてはやはり重量のファクターを考慮する必要があることから、今後は大型車両(特に、過積載車両)台数で評価・分析すべきと思われる。

謝辞

本研究を行うに当たり、大阪工業大学八幡工学実験場園田恵一郎教授に大所高所からの多大なご指導をいただきました。また、資料、データの面および現場を熟知し、管理されている立場から前財団法人阪神高速道路管理技術センターの村田修一前理事、大場信行部長、石崎嘉明課長をはじめとする皆さんから貴重なアドバイスをいただきました。この場をお借りして心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 小川篤生：伸縮継手の種類と設計法, 土木技術, 35 巻, 12 号, pp. 86~95, 1980
- 2) 濃添元宏：維持補修からみた伸縮継手の問題点, 土木技術, 35 巻, 12 号, pp. 96~103, 1980
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋伸縮装置便覧, 1970. 4
- 4) (社) 日本道路協会：道路維持管理要綱, pp. 184~187, 1983. 10
- 5) (社) 日本道路協会：道路橋補修便覧, pp. 217~226, 1979. 10
- 6) 石橋善啓, 坂口勇：点検・欠陥・判定・補修などー伸縮装置一, 橋梁と基礎, pp. 111~111, 1974. 10
- 7) 関西道路研究会, 道路橋調査研究委員会：これからの支承・伸縮継手に向けて, 1998. 3
- 8) (社) 日本橋梁建設協会：鋼橋伸縮装置設計の手引き, 1995. 7
- 9) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, I 共通編, 4 章 4. 2s 伸縮装置, pp. 96~99, 2002. 3
- 10) Jean-Armand Calgaro, Rogar Lacroix, 日本構造物診断技術協会・訳：橋の診断と補修, 第 14 章伸縮継手, 2002. 7
- 11) (財) 阪神高速道路管理技術センター：損傷と補修事例に見る道路橋のメンテナンス, pp. 43~45, 1993. 3
- 12) 丹羽寛夫, 黒崎剛史, 吉賀謙一郎：阪神高速道路維持管理業務への C A L S 適用検討, 第 56 回年次学術講演会講演概要集, IV-276, 2001. 10
- 13) (財) 阪神高速道路管理技術センター, 大阪工業大学八幡工学実験場構造実験センター：伸縮継手の損傷に関する調査研究業務報告書, 2004. 2

(2005 年 9 月 17 日受付)