

論文 表面被覆材のひび割れ追従性評価のための動的ひび割れ幅変動の計測

国枝 稔^{*1}・撫養 啓祐^{*2}・中村 光^{*3}

要旨：塗装系の表面被覆材に要求される性能の1つであるひび割れ追従性の評価は、一般には静的なひび割れ追従性試験により評価が行われる。一方、実構造物では、活荷重の作用などにより動的にひび割れ幅が変動している場合の評価も重要であると考えられる。本研究では、表面被覆材の動的ひび割れ追従性の評価を行うにあたり、その入力値を明確にすべく、実橋梁のRC床版に生じたひび割れを対象としてひび割れ幅変動を計測した。その結果、計測されるひび割れ幅変動の大きさやその発生頻度は構造物によって異なり、特にひび割れ位置、計測時間帯や大型車混入率の違いなどの影響を受けていることが分かった。

キーワード：表面被覆材，ひび割れ追従性，動的ひび割れ幅変動

1. はじめに

劣化したコンクリート構造物に対して、塗装系の表面被覆材（有機系，無機系）が表面保護工として適用される事例が多い。しかし、適用された表面被覆材が設定された期間において、所定の性能を発揮しない事例¹⁾も報告されており、特に劣化の形態として“脹れ”，“剥れ”ならびに“割れ”が生じているのが現状である。“割れ”に関しては、既存コンクリートのひび割れの変動に追従できずに生じている場合が多く、**図-1**に示すようないわゆるひび割れ追従性の評価が重要とされている。土木学会から提案されている表面被覆材のひび割れ追従性試験方法（JSCE-K 532-1999）などにより、静的なゼロスパン伸びをもってひび割れ追従性の評価が行われる場合が多いが、実際のひび割れ部の開口などを調査、計測した事例は少ないのが現状である。とりわけ活荷重の作用等によりひび割れ幅が動的に変動している場合もあるため、これらの影響を明確にする必要がある。魚本らは、表面被覆材を対象とし、100万回および1000万回の疲労試験を実施しており²⁾、例えば試験条件と

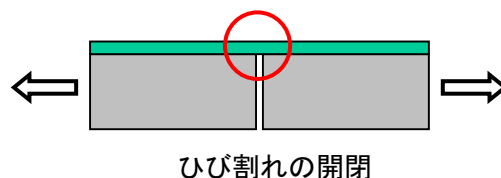


図-1 表面被覆材のひび割れ追従性のイメージ

して±0.02mm，10Hzの変動を用いている。しかし、道路橋においては想定される活荷重が一定ではなく、ひび割れ幅の変動が表面被覆材の劣化メカニズムに与える影響についても明確にはされていないのが現状である。

本研究では、表面被覆材の動的ひび割れ追従性の評価を行う際の入力値を明確にすべく、実橋梁の床版に生じたひび割れを対象に、動的なひび割れ幅変動を計測した。さらに、これらの結果を用いて、表面被覆材のひび割れ追従性の評価に関する考察を行った。

2. 計測概要

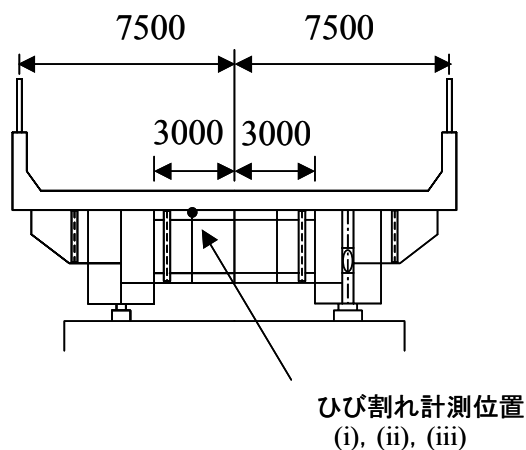
2.1 測定対象橋梁

本研究では、名古屋市市内にあるA高架橋のRC

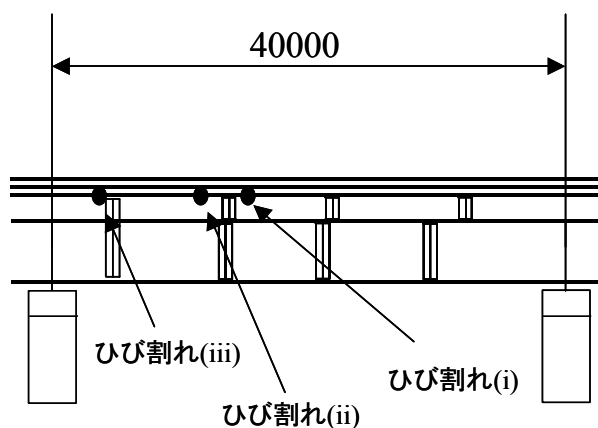
*1 名古屋大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教授 博士（工）（正会員）

*2 名古屋大学 工学部社会環境工学科

*3 名古屋大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授 博士（工）（正会員）

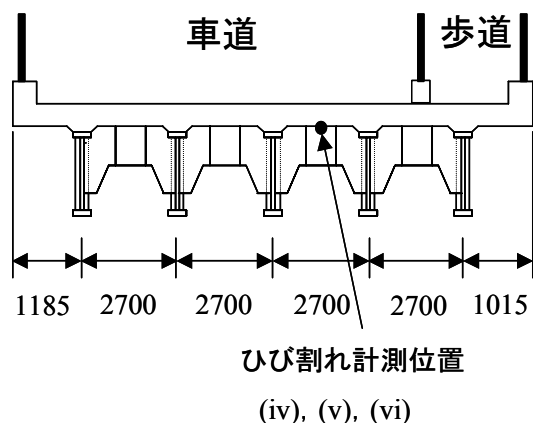


(a) 断面

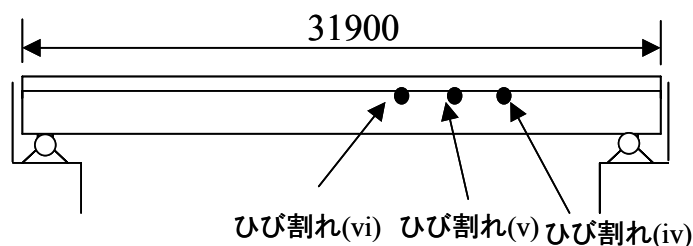


(b) 側面

図-2 A 高架橋の概要と計測位置



(a) 断面



(b) 側面

図-3 B 橋梁の概要と計測位置

床版および長野県内にある B 橋梁の RC 床版に生じたひび割れを対象とした。なお、両 RC 床版は、表面保護工が必要であるという構造物ではなく、足場設置等の制約条件などから選定されたものである。

A 高架橋は、支間長 40m の 3 径間連続の 2 主桁桁橋であり、RC 床版の厚さは 240mm、床版支間長は 3m である。この地点での 24 時間交通量は約 58,000 台 (4 車線の合計)、大型車混入率は 3% である (平成 16 年交通量調査より)。

支点から橋軸方向に 5.5m、16.5m および 22m 離れた位置において、床版下面に橋軸方向に生じたひび割れ (計 3 本、それぞれひび割れ(i),

ひび割れ(ii), ひび割れ(iii)と呼ぶ) を対象とした (図-2 参照)。これらのひび割れは桁間のほぼ中央部に生じており、かつ時間差はあるが、ほぼ同一の荷重が作用すると思われる位置に存在する。ひび割れ幅は、いずれも 0.1~0.15mm の範囲にあった。

B 橋梁は、支間長 31m の 5 主桁鋼単純プレートガーダー橋で、RC 床版の厚さは 230mm、床版支間長は 2.7m である。この地点での 24 時間交通量は約 15,000 台 (1 車線)、大型車混入率は 39% である (平成 11 年交通センサスより)。

支点から橋軸方向に 5m、7.5m および 10m 離れた位置において、橋軸方向に生じたひび割れ

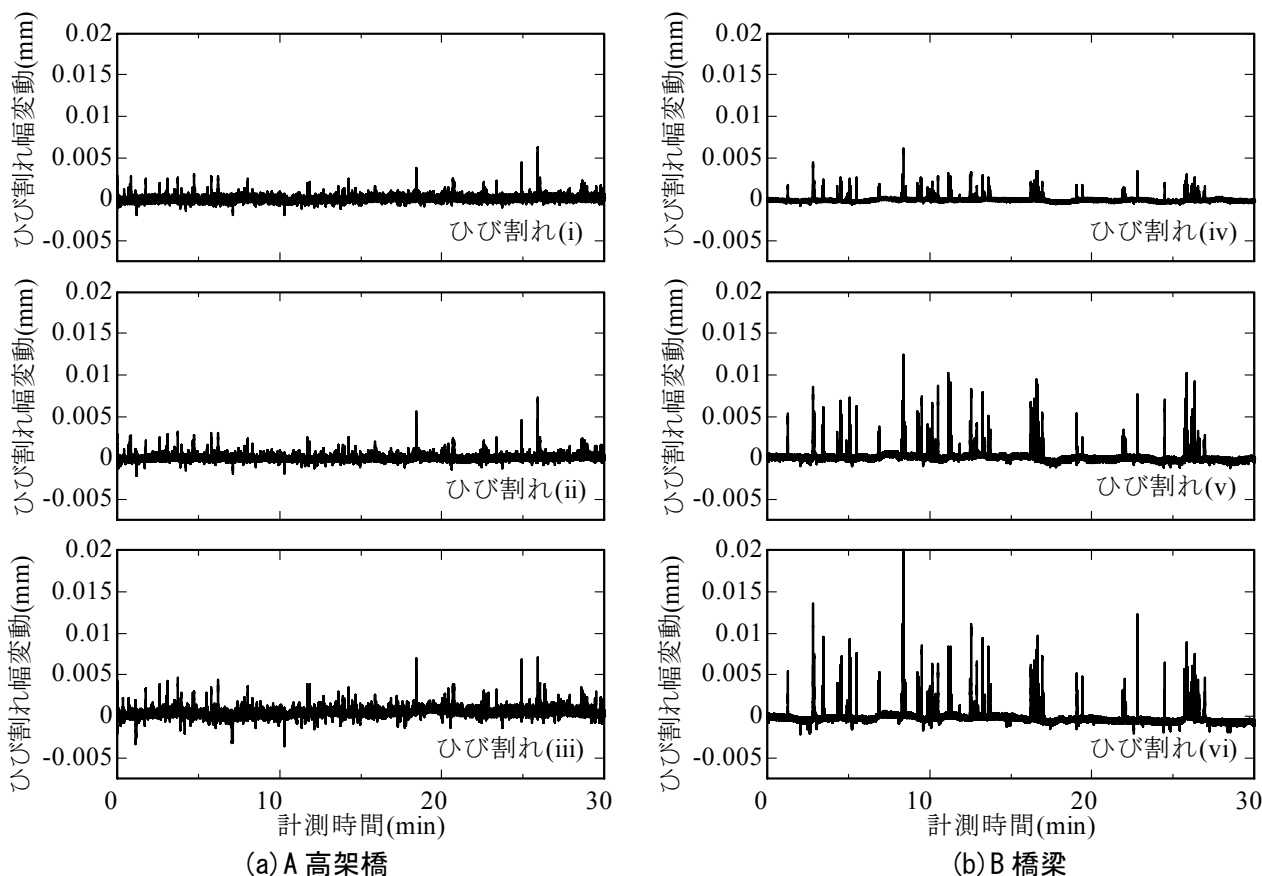


図-4 計測波形の例

(計 3 本, それぞれひび割れ(iv), ひび割れ(v), ひび割れ(vi)と呼ぶ)を対象とした(図-3参照)。これらのひび割れについても, 桁間中央付近に位置しており, 時間差はあるが同一の荷重によってひび割れが開閉しているものと考えられる。なお, ひび割れ幅はいずれも 0.05mm 程度であった。

すべての計測では, 対象とするひび割れに検長 50mm のパイ型変位計(精度 1/2000mm)を取り付け, 100Hz のサンプリングで 24 時間計測を行った。

3. 計測結果

3.1 計測波形とその特徴

A 高架橋および B 橋梁のそれぞれについて, 対象とした 6 本のひび割れの動的ひび割れ幅変動の計測例(30 分間)を図-4に示す。なお, ひび割れが現状のままでまったく開口, 閉口していなければ, この値は 0 を示し, 重量交通な

どにより床版にたわみが生じ, ひび割れが開口すればプラス側に開口量が示される。例えば, A 高架橋のひび割れ(i)について, 最大の動的ひび割れ幅の変動は 0.006mm であることが読み取れる。また, 同一の橋梁の範囲内では, 各計測結果は, おおよそ同じような形状をしており, 同一の荷重の作用によって生じた変動であることが分かった。ただし, その値はひび割れ位置によって若干異なっていることが分かる。

図-5に, ひび割れ(iii)と(vi)にて計測された波形のうち, 1つの計測波の例を示す。これによると, いずれの構造物においても, おおよそ 1秒間で開閉口している様子が分かる。なお, ほとんどの計測結果において, 主に 2つのピークが存在し, 1つ目のピークがやや小さいという傾向にある。さらに詳細な検証が必要であるが, これら 2つのピークは大型車の通過(特にタンデム軸の影響)により生じているものと推察される。なお, 次節以降の頻度の計算では, 2つの

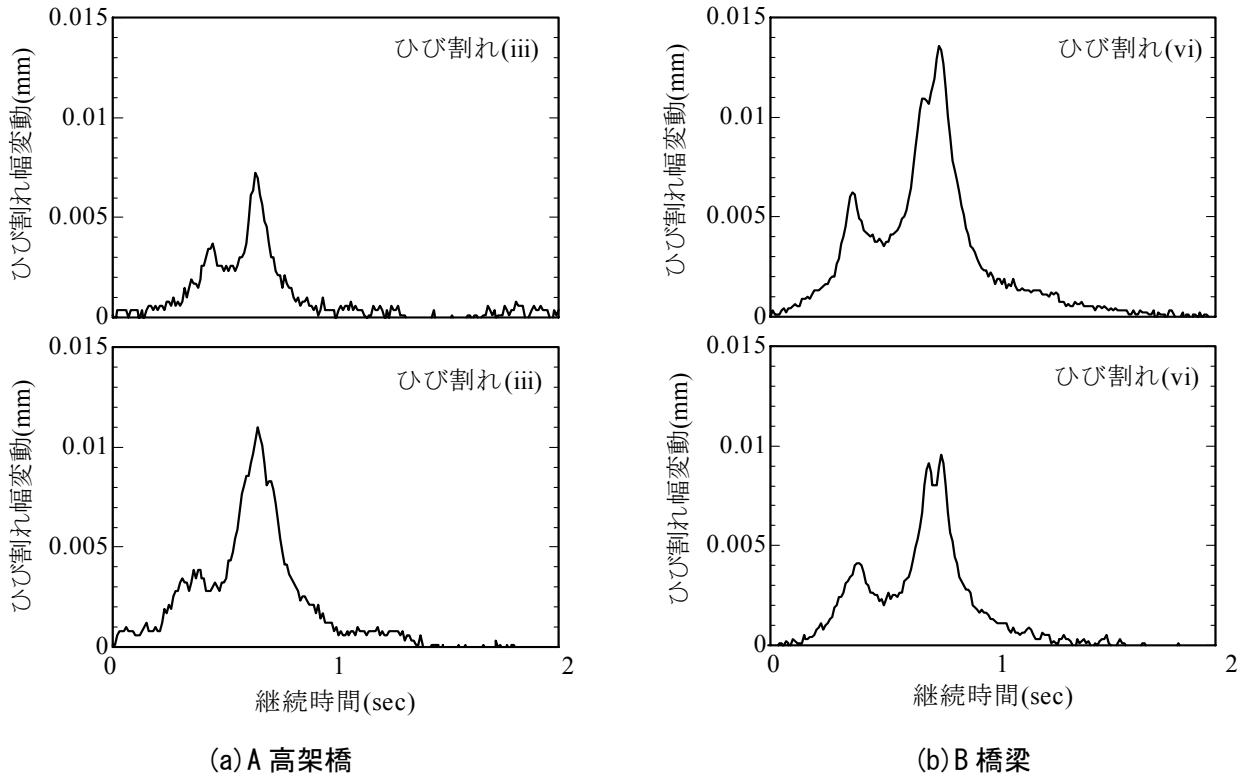


図-5 計測波形の例

ピークを含めて1回としてカウントした。

3.2 ひび割れ幅変動の頻度分布

A 高架橋および B 橋梁のそれぞれについて、24 時間の計測で得られた動的ひび割れ幅変動のうち、0.005~0.01mm の範囲の変動の頻度を図-6, 7に示す。なお、0.005mm 以下のデータについては、計測中のノイズや計測器具の誤差が含まれていること、及びより明瞭なピークをもとに議論を行うことを目的とし、ここでは対象としていない。

A 高架橋に関して、0.005~0.01mm のひび割れ幅変動は、ひび割れ(iii)において最も多く計測されている。時間帯としては、昼間での計測回数が多くなっており、交通量の調査結果との相関があった。なお、0.01mm 以上のひび割れ幅変動は、6 時~18 時の間にひび割れ(ii)において7回計測されたのみであった。

B 橋梁に関して、0.005~0.01mm の範囲の頻度が A 高架橋の約10倍程度の大きさとなっており、図-8に示すように 0.01mm 以上のひび割れ幅変動も多数計測されている。これは A 高架橋と

B 橋梁の1車線当たりの24時間交通量は同程度であるが、B 橋梁の大型車混入率が39%と極めて高く、A 高架橋の大型車混入率の約13倍という値と相関があるものと考えられる。なお、0.005mm 以上の計測値の頻度分布によると(図-7参照)、夜間にて比較的大きなひび割れ幅変動が計測されているが、さらに大きな0.01mm 以上の計測値の頻度分布に着目すると(図-8参照)、昼間にも比較的多くの頻度でひび割れ幅変動が計測されている。すなわち、当該橋梁では大型車の交通量は夜間に多いが、中でも特に大きな大型車は昼間にも存在していると推察され、このことは当該橋梁にて実施された荷重実態調査の結果³⁾からも確認できる。

以上より、計測されるひび割れ幅変動の大きさやその発生頻度は構造物によって異なり、特にひび割れ位置、計測時間帯や大型車混入率の違いなどの影響を受けていることが分かった。

3.3 ひび割れ幅変動の平均発生間隔

A 高架橋、B 橋梁のそれぞれの計測データのうち、0.005mm 以上のひび割れ幅変動を対象とし

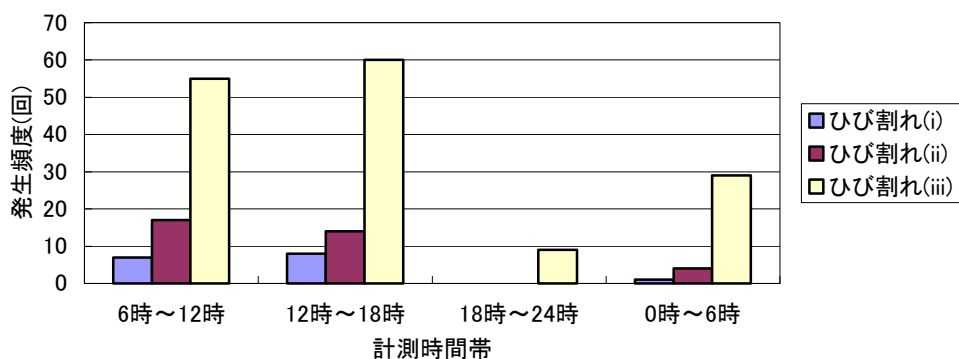


図-6 A 高架橋の頻度分布 (0.005~0.01mm)

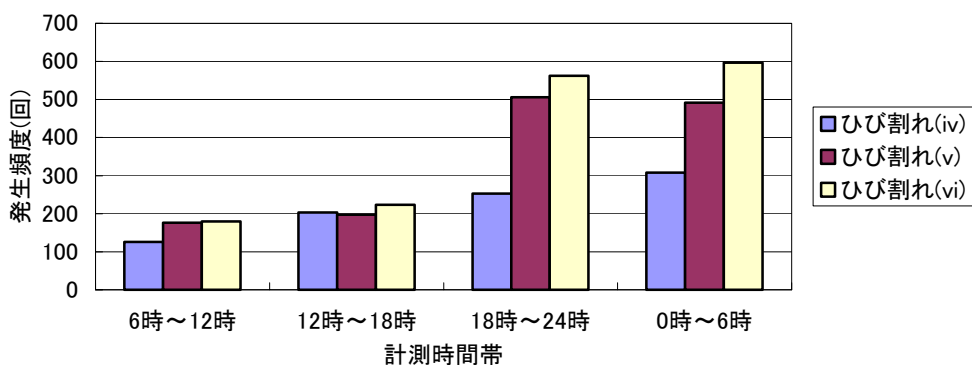


図-7 B 橋梁の頻度分布 (0.005~0.01mm)

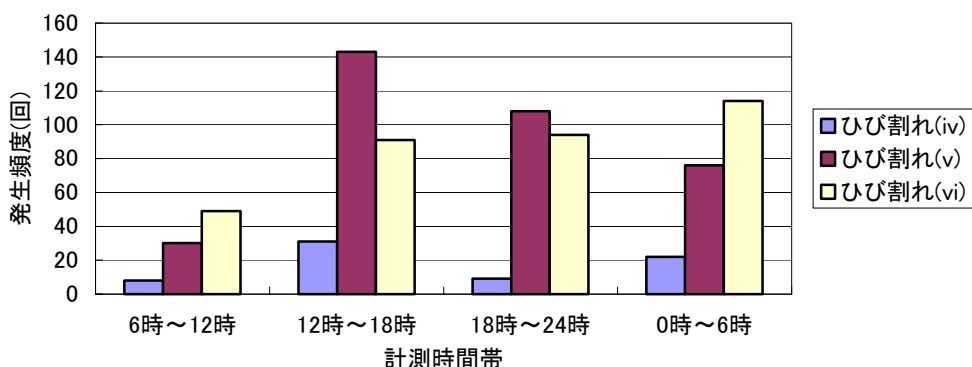


図-8 B 橋梁の頻度分布 (0.01mm 以上)

て、計測時間帯毎の平均発生間隔を算定した結果を表-1に示す。A 高架橋では、24 時間の平均値で 800~2600sec 程度の範囲にあり、B 橋梁では 24 時間の平均値で 60~100sec となり、ひび割れ幅変動の発生間隔は B 橋梁の方が小さいことが明らかとなった。これについても、B 橋梁の大型車混入率が高いことによるものと考えられる。なお、A 高架橋では支点からの距離が短いほど、発生間隔は小さいが、B 橋梁では逆の傾向を示している。この理由は、現段階では明確になっておらず、引き続き調査する必要がある。

4. 表面被覆材の動的ひび割れ追従性

一般にひび割れ追従性は図-1に示すようなゼロスパンのひび割れ追従性試験によって評価される場合が多い。今回の計測ケースにおいては、初期のおよそのひび割れ幅が A 高架橋、B 橋梁においてそれぞれ $W_{A0}=0.15\text{mm}$ 、 $W_{B0}=0.05\text{mm}$ であり、最大のひび割れ幅変動はそれぞれ $\Delta W_A=0.015\text{mm}$ 、 $\Delta W_B=0.03\text{mm}$ であった。ここで、B 橋梁のひび割れ幅変動の値は、A 高架橋のそれに比べて 2 倍となっている。一方、ひび割れ周辺の表面被覆材において、ひび割れ幅

表一 各橋梁におけるひび割れ幅変動の時間間隔

(単位：sec)

	A 高架橋			B 橋梁		
	ひび割れ(i) (支点から22m)	ひび割れ(ii) (支点から16.5m)	ひび割れ(iii) (支点から5.5m)	ひび割れ(iv) (支点から5m)	ひび割れ(v) (支点から7.5m)	ひび割れ(vi) (支点から10m)
6時～12時	2580	1218	376	159	104	94
12時～18時	2694	959	387	89	63	68
18時～24時	—	—	1806	81	35	33
0時～6時	—	2148	726	65	38	30
平均値	2637	1441	824	99	60	56

*ハイフンはその時間帯に計測されなかったか、1回のみ計測されたことを示す。

に相当する部分のみが伸びに寄与するものと仮定した場合（実際には、表面被覆材の厚さや材質にも依存すると考えられる）、ひび割れ部での表面被覆材のひずみは、それぞれ $\varepsilon_A = \Delta W_A / W_{A0} = 10\%$ 、 $\varepsilon_B = \Delta W_B / W_{B0} = 60\%$ となり、ひび割れ幅変動の倍率よりも大きくなるのが分かる。よって、コンクリート構造物に生じた初期ひび割れ幅が小さく、かつひび割れ幅変動が大きいほど表面被覆材に生じるひずみが大きくなり、材料の劣化に影響を与えることが予想される。

さらに、構造物内の初期のひび割れ幅は部材や部位によって異なり、かつ本計測によるとひび割れ幅変動も部位によって異なることから、表面被覆材の動的ひび割れ追従性の評価にあたっては、これらを直接計測するなどによって定量化しておくことが望ましい。したがって、様々な構造物において計測を行い、データを蓄積することで、動的ひび割れ追従性の試験の為の条件が明確になるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、表面被覆材の動的ひび割れ追従性の評価を行うにあたり、その入力値を明確にすべく、実橋梁のRC床版に生じたひび割れを対象としてひび割れ幅の変動を計測した。本研究では、計測されたひび割れ幅変動の大きさやその発生頻度は構造物によって異なり、特にひび割れ位置、計測時間帯や大型車混入率の違いな

どの影響を受けていることが分かった。

今後は、これらのデータを蓄積し、対象構造物の構造的な特徴とも関連させつつ、表面被覆材のひび割れ追従性の評価を行っていく予定である。

6. 謝辞

本計測の実施にあたり、名古屋高速道路公社保全施設部保全課 森下宣明氏、飯塚洋介氏には多大なる協力をいただいた。また、名古屋大学大学院環境学研究科 山田健太郎教授、小塩達也助手にも実際の計測に際し、ご協力ならびにご助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) たとえば縦山好幸, 吉田幸信, 吉田敦, 山田卓司, 宮川豊章: 塗装系防食材の追跡調査に基づく耐久性能評価と付着性能評価手法の提案, コンクリート工学論文集, Vol.14, No.3, pp.11-22, 2003
- 2) 飯塚康弘, 西村次男, 魚本健人: ひび割れを有するコンクリートに塗布した表面保護材料の100万回及び1000万回疲労実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.427-432, 2001
- 3) 山田健太郎ほか: 国道19号木曾地域における活荷重モニタリングとその分析業務, 平成15年度名古屋大学受託研究報告書, 2004