

報告

[1126] 複合法による鋼橋 RC 床版の劣化調査に関する基礎的研究

正会員 石井孝男 (日本道路公団東京第一管理局)
 香山幸夫 (日本道路公団横浜管理事務所)
 正会員○上東 泰 (日本道路公団横浜管理事務所)
 正会員 佐藤 登 (三協会社技術営業部)

1. まえがき

東名高速道路の鋼橋 RC 床版は、昭和30年代後半から40年代にかけて施工されたもので、床版厚が薄く、主桁間隔が広い構造となっている。建設後20年以上経った今日、交通量の増大及び車両の大型化による繰り返し荷重の増、等の要因により床版の劣化が進んでおり、床版増厚及び床版打替等の工法により補修・補強している現状である。

その補修・補強の判断基準については、主に床版下面からの目視による外観調査やハンマーによる打撃法等の調査によっているが、床版内部の水平ひびわれや空隙等の欠陥は確認できないため、劣化の程度及び補修範囲を限定するには必ずしも十分なものではなかった。したがって、鋼橋 RC 床版の劣化調査に非破壊検査法として、サーモグラフィ法及び超音波法を併用することで、自動車交通開放下においてもより高い精度で RC 床版の劣化を診断することができた。

本文は、これらの調査手法の基礎的な研究について、実橋床版の調査結果に基づき報告するものである。

2. 内部探査のための非破壊検査

2.1 非破壊検査法

コンクリートの非破壊検査は、強度等の物理定数を推定する目的で使用されるケースが主であり、金属材料のように内部探査を目的とするものが少なかった。ところが、近年、社会問題化しているコンクリート構造物の劣化に伴う内部

表-1 内部探査のための非破壊検査

使用目的	赤外線法	超音波法	放射線透過法	レーザ法	打音・振動法	電磁誘導法	A E法	自然電位法
欠陥・空隙	○	○	○	○	○			
寸法・厚さ		○	○					
鉄筋位置			○	○		○		
ひび割れ	○	○					○	
鋼材腐食			○					○

部のひびわれ及び空隙等に代表される欠陥の検査方法が重要となっている。表-1は、代表的な非破壊検査を分類したものである[1]。なお、今回は、外観調査では確認できない床版内部の水平ひびわれや空隙等の診断を自動車交通開放下で実施することを目的として、サーモグラフィ法及び超音波法に着目し調査を行なった。

2.2 サーモグラフィ法

サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の劣化調査における応用としては、建築構造物の外壁等の診断に利用された例が多く、熱貫流抵抗の差により健全部と欠陥部の温度差が顕著に現れることが報告されている[2, 3]。また、最近では土木構造物の劣化調査にも適用されており、他の非破壊検査法に比べ測定が簡便であり精度も良いとの報文もある[4, 5, 6]。

今回の調査方法は、自動車交通開放下で調査を行なうことから、路面からの調査は跨道橋上に路下からの調査は床版直下に赤外線カメラを設置して行なった。また、モニターTVの画像の温

度分布が僅かな温度差でも検出出来るように、積分処理、アベレージング及びコントラストエンハンス等の画像処理装置を持ち込み調査を行なった。調査機器は、赤外線カメラ、モニターTV、画像処理装置及び擬似カラーユニットからなり、機器構成を図-1に示す。

2.3 超音波法

コンクリートの内部探査に超音波を使用した方法は早くから研究されていた。しかし、これまでの超音波法は、面接触型センサーを使用していたため、表面の凹凸やざらつきの多い実構造物に対してはデータの復元性が劣り、また、高周波を使用している

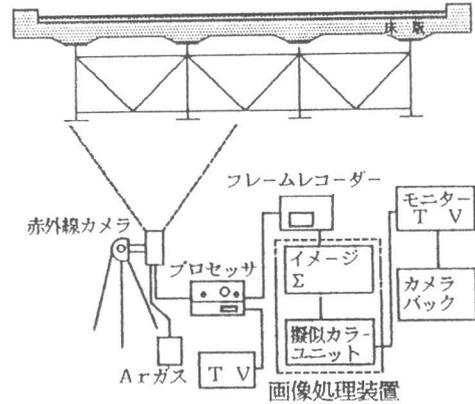


図-1 サーモグラフィー法の機器構成

ために内部に音が伝播しにくく、鉄筋や粗骨材の影響を受け易いという欠点があった。しかし、今回使用した機器は点接触型センサーを使用しており、かつ、低周波(5 KHz)を使用しているため前述の問題が生じなく、1秒間に2回受信波形を表示するため、作業性に優れる等の特長を有している。なお、測定方法は、並列法を採用した室内試験における受信波形の性状パターンを図-2に示す。

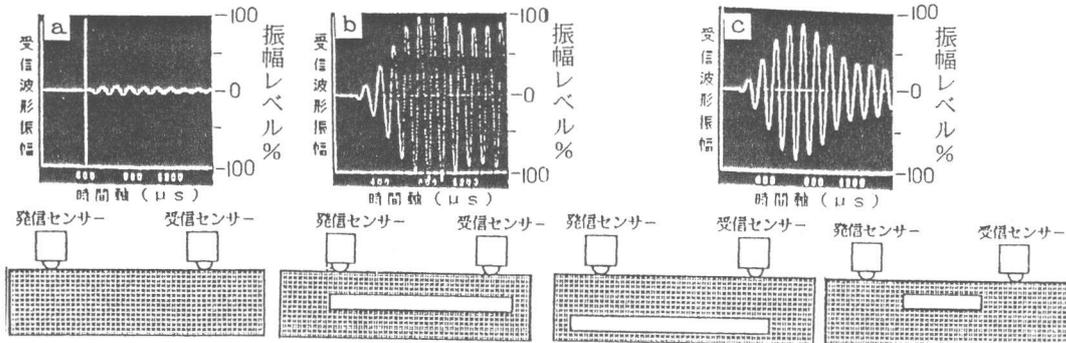


図-2 受信波形の性状パターン

(a)は、健全部の波形性状を示し、床版深部から減衰した音が返ってくるため、波形の振幅レベルは約10%以内と小さくなる。

(b)及び(c)は、欠陥部の波形性状を示しており、前者は、浅い位置もしくは、センサー間隔より広い欠陥の存在を示しており、音の減衰が小さいため波形の振幅レベルが90%以上と大きくなる。後者は、深い位置もしくは、センサー間隔より狭い欠陥の存在を示しており、音の減衰が比較的小さいため、波形の振幅レベルは比較的大きくなる。なお

(b)と(c)の波形性状の差は、振幅レベルの大きさにより欠陥部までの深さを相対的

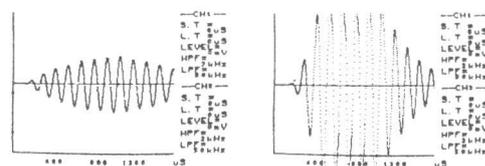
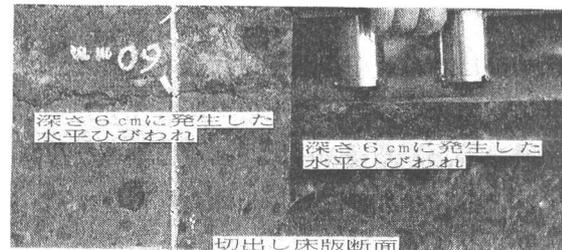


写真-1 切出し床版での測定状況と受信波形

に現していると考えられる。したがって、これらの受信波形の性状を比較することによって、実橋のRC床版内部の欠陥の有無、範囲及び形状を検出することが可能と考え、写真-1に示すように床版厚18cmの切出し床版を使用し、表面からの深さが6cmと2cmの位置に発生した水平ひびわれを対象として確認を行なった。測定結果から、写真-1に示すような内部欠陥の深さによって、受信波形の振幅レベルに差の生じることが確認され、内部欠陥の有無と相対的な深さについて検出が可能であることが判明した。このことから、自動車交通開放下においてもRC床版内部の欠陥の検出が可能と判断し調査を行なった。

3. 複合法による劣化調査

3.1 複合法の概要

コンクリートの強度推定に対しては、在来の非破壊検査法を2種類以上組み合わせる複合非破壊検査（複合法）によって、推定精度を向上させようとする試みが報告されているが、内部探査を目的とした複合法についての報文は少ない。特に自動車交通開放下での実橋のRC床版を対象とした適用例はなく、複合法の例としては車両通行止め時のサーモグラフィー法と電磁波法による調査例があり、前者は検出精度に優れていること、後者は大まかな判定基準となること等が報告されている[4]。

3.2 複合法による劣化調査

複合法による劣化調査に当たり、RC床版の損傷は、一般的に輪荷重直下とその近傍に多く発生していると言われている。床版上面のひびわれ等の欠陥は補修工事段階で対応可能なため、写真-1に示すような水平ひびわれや内部欠陥に着目し、サーモグラフィー法と超音波法の組み合わせを選定した。表-2に示すようにお互いの長所として、サーモグラフィー法では非接触なため作業性が良く内部欠陥の検出を面的に大きな範囲で行い、超音波法ではその範囲について床版下面から接触することにより、欠陥位置のおおまかな深さや範囲を限定することが出来る。

図-3に示すように、床版下面から外観調査・打診を行ない、次に路面及び床版下面からサーモグラフィー法による調査を実施し、温度差の顕著な箇所については超音波法で確認し、欠陥部の範囲の検出を行なった。なお、路面からの調査については、舗装面と床版面との剥離検出のための調査とした。これらの調査から、床版の劣化箇所を限定し、補修・補強工事の計画及び施工に使用した。さらに工事完了後、サーモグラフィー法及び超音波法により、温度分布及び受信波形に異常のないことを確認した。

表-2 サーモグラフィー法と超音波法の長所・短所

	超音波法	サーモグラフィー法	備 考
法範囲の測定	△	○	
深さの測定	○	△	
RC床版への適用性	△	○	超音波法は検査路周辺のみ測定可

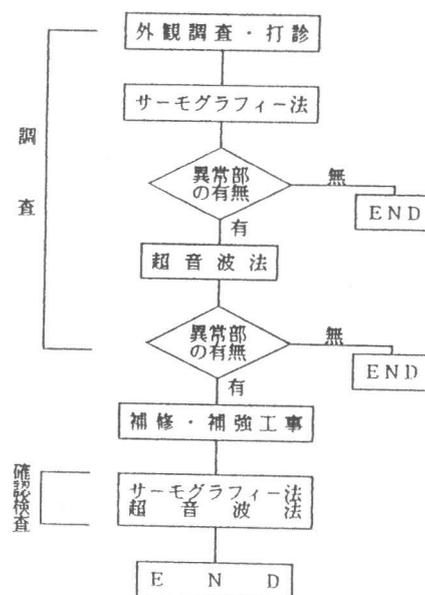


図-3 複合法による劣化調査の流れ

4. 結果と考察

4. 1 サーモグラフィー法

サーモグラフィー法を適用した結果、以下のことが判明した。

①路面からの調査は、5月の快晴、気温27℃の日中に行ない舗装面の健全部温度は上下線それぞれ39℃、38℃であったが、図-4に示すようにサーモグラフィー法の異常部として、上り線では41℃と2℃の差、下り線では35.2℃と2.8℃の差が画像処理から検出できた。これらは相方とも舗装面の剥離を現していると考えられ、降雨の2日後の調査であったため、床版下面にひびわれがある上り線では舗装面の剥離部が高温となり、ひびわれのない下り線では滞水による温度低下が生じたと想定され、後の調査で相方とも舗装の剥離が確認された。

また、サーモグラフィー法による舗装面の剥離面積と補修による剥離面積の比較を表-3に示す。これらから、天候の良い日中で気温の高い時間帯を選ぶことにより、気温と路面温度との差が大きいため、舗装面の剥離の範囲を高い精度で検出することが出来た。

②床版内部のひびわれ及び空隙等の欠陥は、路面からでは舗装面と床版面の剥離等の欠陥を検出するため、床版下面からの調査が望ましい。

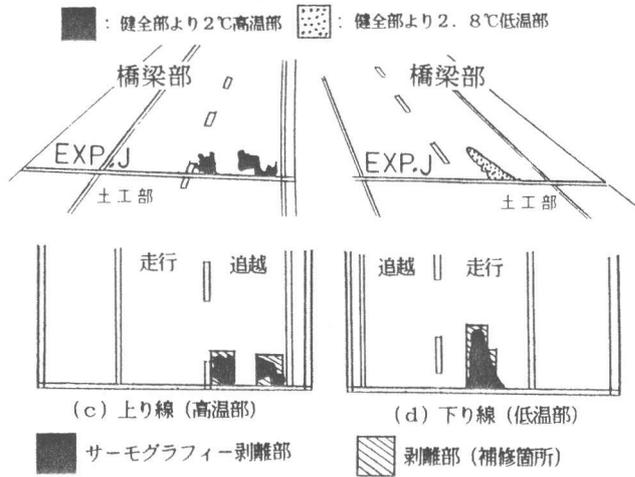
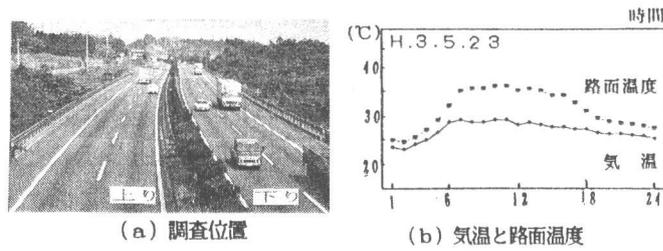


図-4 路面のサーモグラフィー結果

表-3 サーモグラフィー法による舗装面剥離調査結果

	外観調査	サーモグラフィー法				剥離面積 m^2 (補修箇所)	面積比	事後調査
		健全部 $^{\circ}C$	剥離部 $^{\circ}C$	温度差 $^{\circ}C$	面積 m^2			
上り線	貫通ひびわれ	39.0	41.0	2.0	0.48	0.65	0.74	滞水なし
下り線	なし	38.0	35.2	2.8	2.00	2.25	0.88	滞水あり

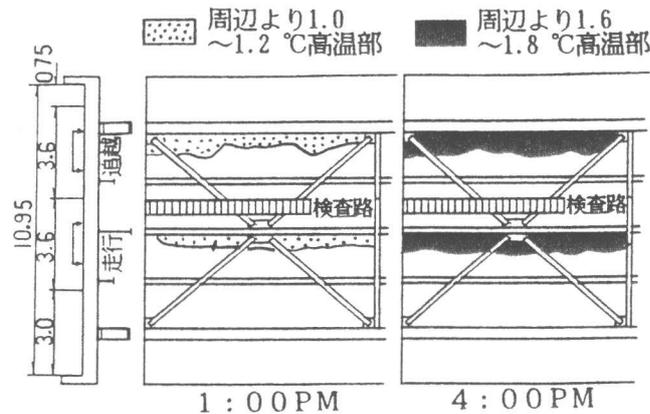


図-5 サーモグラフィー法による床版下面のタイヤ熱分布図

③床版下面からの調査は、雨天時等は、外気の湿度が高く微細な水粒子が測定面に付着するため、床版表面の温度分布を捉えることが出来ない。そのため、天候の良い日に測定する必要がある。また、11月の曇天の午後1時と4時における床版健全部下面におけるタイヤ熱の影響とその周辺の温度変化を図-5に示す。午後1時のタイヤ熱の影響部とその周辺の温度差は1.0~1.2℃であったが、4時には1.6~1.8℃と差が大きくなった。このことから、昼間は温度が様に高いが、夜間に近づき気温が低下するため、舗装面を走行する車両のタイヤ熱による温度差が顕著に現れ、ひびわれ及び空隙等の欠陥を検出することが出来る。図-6にタイヤ熱の影響を受けている床版での健全部と欠陥部の表面温度を示す。健全部はタイヤ熱の影響を受けため外気温の変化に追従し惜いが、欠陥部はひびわれや空隙があるためタイヤ熱の影響を受け惜く、外気温の変化に追従し易い。

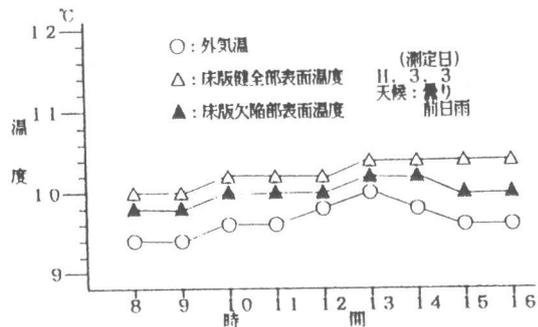


図-6 床版健全部と欠陥部の床版下面温度

4.2 超音波法

超音波法を適用した結果、以下のことが判明した。

①実橋で調査した結果、欠陥が検出され、同所をコア採取したところ、写真-2に示すように床版上面から5~8cmの位置に、内部ひびわれが確認出来た。ただし、今回使用した装置による探査可能範囲は深さ方向について10cm程度が限界である。

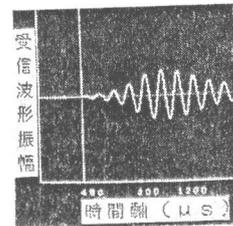
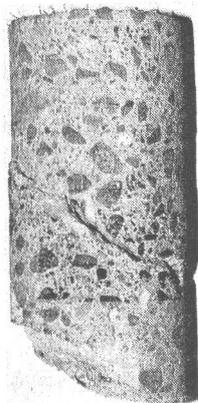


写真-2 コアにより確認された内部ひびわれと受信波形

②床版内部のひびわれ及び空隙等の欠陥の種類、深さ位置及び方向性については、今回は判定出来なかった。

4.3 複合法による劣化調査

サーモグラフィー法と超音波法を併用した複合法による鋼橋RC床版の劣化調査の結果、以下のことが判明した。

①複合法による劣化調査の結果を写真-3に示す。aは健全部で、bとcはサーモグラフィー法による異常部であり、超音波法の受信波形からも床版内部に欠陥があると判断された。また、この箇所

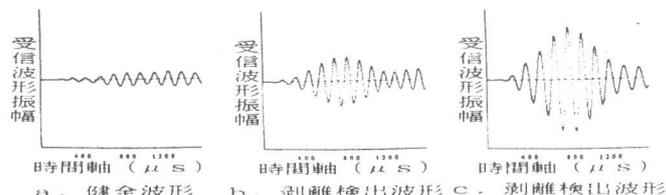
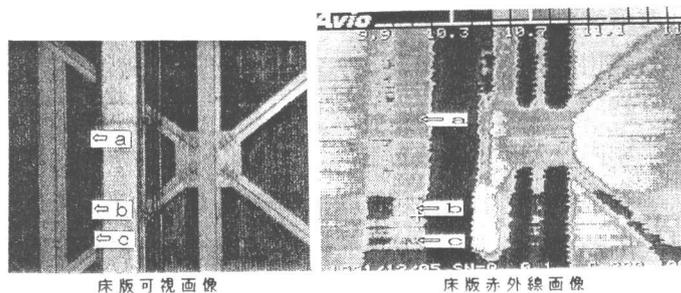


写真-3 複合法による劣化調査結果

ついて床版打替を行なった後、サーモグラフィ法及び超音波法により、温度分布及び受信波形に異常のないことを確認した。

②舗装面と床版面との剥離の確認については、高い精度で確認出来た。

③床版内部のひびわれ及び空隙等の欠陥の種類、深さ位置及び方向性については、今回は判定出来なかった。

④舗装面上から、床版面の欠陥の検出は今回は出来なかった。

4. 4 考察

サーモグラフィ法と超音波法を併用した複合法による鋼橋RC床版の劣化調査は、内部欠陥の探査及び舗装面の剥離調査に、極めて有効であることが確認出来た。

5. 今後の課題

複合法による劣化調査については、一応の成果が得られたが今後の課題として、以下のことがあげられる。

①今回は比較出来なかったが、他の非破壊検査法と組み合わせることにより、より精度を向上することが期待される。

②サーモグラフィ法は天候に左右されない調査手法と、輪荷重位置以外も欠陥を判定出来る手法の開発が必要である。

③超音波法の探査範囲の拡大と、調査機材の軽量化が望まれる。

④サーモグラフィ法及び超音波法とも、欠陥（剥離等）の種類、深さ位置及び方向性等不明な点が多いため、測定データ数を増やす必要がある。

6. あとがき

本文では、複合法による鋼橋RC床版の劣化調査に関する基礎的研究について、東名高速道路の実橋の調査結果を基に述べてきた。サーモグラフィ法及び超音波法については、まだまだ研究すべき不明な点が多いが、劣化箇所を限定し、補修・補強を行なうために有効である。今後とも他の非破壊検査法とも複合させることで、よりよい調査手法の確立を目指したい。

参考文献

- 1) 谷川恭雄・山田和夫：コンクリートの非破壊検査、コンクリート工学、Vol. 27、PP.5-13、1989.3
- 2) 柳内睦人：損傷があるコンクリート構造物外壁面の熱赤外線センサによる観測、土木学会年次学術講演会、V-130、PP.284-285、1991.9
- 3) 広野 進：コンクリートの非破壊検査方法（原理と手法）－欠陥、空隙等－、コンクリート工学、Vol.27、PP.53-58、1989.3
- 4) 豊福俊泰・有水恭一・山岸 肇：道路橋RC床版上面破損の非破壊検査法、第18回日本道路会議・特定課題論文集 716、PP.288-290、1989.10
- 5) 文野結紀・笹井幸男・田中敏也：厳しい気象環境下における既設コンクリート構造物の塩害対策について、第18回日本道路会議・特定課題論文集 608、PP.218-220、1989.10
- 6) 杉崎 守・橋本和夫・小林久夫：赤外線による橋梁の調査、橋梁と基礎、PP.45-47、1990.6