

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（FS研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）	所属	役職	
	森 伸一郎（もりしんいちろう）	愛媛大学	准教授	
②研究 テーマ	名称	コンクリート桁橋の多点同時可搬式振動計測による健全性評価法の実用化研究		
	政策 領域	[主領域] 【領域8】 道路資産の保全	公募 タイプ	タイプ I
		[副領域]		
③研究経費（単位：万円） ※受託金額を記入。	平成24年度 999万円			
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏名		所属・役職		
中畑 和之		愛媛大学・准教授		
全 邦釘		愛媛大学・助教		
氏家 勲		愛媛大学・教授		
上田 隆雄		徳島大学・教授		
香川 紳一郎		応用地質(株)・チーフコンサルタント		
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）				
<p><b>目的：</b>コンクリート桁橋を対象に、局所損傷分布と全体振動特性の関係を例示した上で、過去3箇年で実施した述べ44橋梁（78支間）の先行測定により培われた技術を改良して、交通に制限を加えることのない可搬式振動計による多点同時振動測定を行い、それに基づき評価された曲げ剛性を指標とした定量的健全度評価技術を開発することである。</p> <p><b>目標：</b>外観目視点検による定性的評価に客観的・定量的評価を加えることで道路橋梁の維持管理の高度化を実現することである。本年度のFS研究としての開発目標は「局所的な損傷で橋梁の安全性に関わるものと、得られる巨視的な振動特性との関係など、マクロとミクロの関係について、具体的な事例を通じて明らかにすること」である。</p>				

## ⑥ F S 研究の結果

(必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入。)

- (0) 徹底した文献調査により、マクロ・ミクロ関係を「損傷の影響評価」(順解析)で規定した。

### 【振動の測定・分析手法の標準化努力】

- (1) 従来使用されていた加振方法(車両落下、車両走行、微動)と比べて、車両落下は通行止めを伴い論外であるが、交通遮断しない車両走行と微動と比べて、卓越振動数の特定には低次モードの固有振動数特定の観点でハンマー打撃法が最も客観性があり精度が高い。
- (2) 高精度動コイル型速度計は、微小レベルの振動でも、本研究で対象とする中小径間の低次の固有振動数領域では、速度計測基準であるレーザードップラー速度計と同程度の精度を有する。
- (3) 発展的モード励起ハンマー打撃法を開発し、少ないセンサーで振動モードを特定できる可能性を示し、実用化にキーとなる方法論の標準化の目途が付いた。(今年度、国際会議で発表予定)

### 【マクロ・ミクロ(全体系の振動と局所的損傷)の関係】

- (4) 円柱コンクリート供試体の載荷実験で、可視損傷の発生前から、荷重の増加や繰り返しと変形の増加に伴って、変形特性と非破壊・微破壊試験結果に品質低下が認められ、鋼材にはないコンクリートの損傷の特徴を総合的に評価できる。(模擬損傷桁実験の必要性・有効性)
- (5) 実橋梁から切り出した橋桁の載荷試験でも、可視損傷の発生前から、荷重の増加と変形の増加に伴い固有振動数の有意な低下が認められた。可視損傷の発生後もその低下は認められた。  
(局所損傷の進展に伴う卓越振動数の変化、というマクロ・ミクロ関係の例示)
- (6) 多径間橋梁で、目視点検の結果で補修の必要があると判断されるような、程度が中位以上の損傷の橋梁では、径間ごとで固有振動数に有意な差が認められた。
- (7) 多径間橋梁で、目視点検に基づき補修予定・実施中の橋梁(国)では、損傷の程度が小さいものでは程度に差があっても橋梁の多くでは、径間の間で固有振動数に有意な差はなかった。
- (8) 目視点検による損傷程度のひどい多径間橋梁では、径間ごとの損傷程度と固有振動数の低下割合の間にはある程度の正の相関があった。(町管理MCK橋、市管理の3橋)
- (9) 目視点検による損傷程度の低い多径間橋梁では、径間ごとの損傷程度と固有振動数の相関については正の相関があるものとないものに分類される。しかし、径間ごとの非破壊・微破壊試験による品質値と固有振動数の低下の間には中位の正の相関があった。
- (10) 完全崩落に至る直前の程度まで鉛直荷重を受け、重度で高密度な鉛直方向曲げ亀裂の集中発生と鉛直残留たわみを生じた重大被害PCT桁橋では、損傷程度の差異に呼応した固有振動数の低下が認められ、最大27%の固有振動数の低下が確認された。(既往室内模型桁実験と同程度)  
固有振動数70%への低下は、曲げ剛性で約50%の低下に相当する。(曲げ剛性の耐荷性能指標)
- (11) 超音波試験、リバウンドハンマー、インパルスハンマーなどの非破壊・微破壊試験の損傷コンクリート桁への適用で、その結果の集積である定量化した局所損傷の大小と卓越振動数の大小では相関のある橋とない橋に分かれた。可視損傷で評価できないコンクリートの潜在力学的品質劣化を総合的に評価できる可能性を示すことができた。一方、損傷原因によっては卓越振動数では劣化程度を評価できないこともある。(目視点検の補完ではなく、高度化に寄与する)
- (12) MCK橋の徹底した詳細調査の結果、目視点検で可視損傷の差異による評価結果と局所損傷評価試験の結果とおおむね整合したが、目視点検でも局所損傷評価試験でも損傷程度が下位ではない径間で、固有振動数が低いために近接目視を重ねた結果、微細なせん断ひびわれや曲げひび割れがみつかった。したがって、本研究で開発した振動測定は、目視点検で評価が難しいコンクリート部材の力学的性質を総合した桁や支間全体の健全性の定量評価に向いている。

## ⑦本格研究の見通し

(FS研究の結果を踏まえた本格研究における研究成果の見通し、研究目標の達成見込み、成果の活用方法、手段、今後の展開等を記入。この際、提案書(当初計画)からの変更点分かるように工夫すること。)

本研究で開発した振動測定は、目視点検で評価が難しいコンクリート部材の力学的性質を総合した桁や支間全体の健全性を評価するのに向いていることがわかり、新たに開発したハンマー打撃法は実用化にキーとなる方法論の標準化の目途が付いた。FS研究の目的と目標はすべて達成できた。したがって、本格研究の見通しが明るくなるとともに、注力・解決すべき課題も明確になった。また、経年劣化の様子も例示でき、順序変数であるランキングを長寿命化計画で定量的指標を加味して高度化できる道筋を示す見通しも立った。

指導的助言のマクロ・ミクロ関係を明らかにすることは極めて重要であり、実用化を急ぐあまりスキップした当初提案であったが、FS研究でこの重要性を再認識した。したがって、本格研究ではミクロ測定の実行可能性の高いものについてはマクロ・ミクロ関係の確認を行うのが良いと考え、現場実測については、多変数を持つ問題を一気に解くために統計的な観点に立って箇所数を増やすことを目的とせず、実用化範囲の明確化と当該手法の原理的有用性を示すことを目的として、**総数を半減し、適切性の高い対象橋梁の選定に注力し、原理的有効性をマクロ・ミクロの観点から確認する厳選対象数を増やし、説得性を高めるように実施する(変更点)**。

そのために、提案時に本格研究の1年目に、これまでの1次曲げを基本とし、1次ねじれ・2次曲げを参考にするとしたが、FS研究を通して1次ねじれ・2次曲げがほぼ確実に捉えられることや、それによる損傷のゾーン別評価の可能性があらたに示唆された。特に、ねじれモードを確実に特定されたこのため、箇所ゾーン別による1次・2次の卓越振動数の変化のニングT型桁橋の場合、低次のそりモードが現れることがわかり、

## ⑧特記事項

(本FS研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)見通しは立ち、達成度も100%以上である。

本FS研究は、与えられた課題(マクロ・ミクロの関係を実物の測定だけで例示する)の意味理解とその解決方法の具体化方策は、代表者にとっても共同研究者にとっても議論がなかなか収束せず、難問であった。そのため、研究実施に専心し、外部への成果発表はこれからである。

しかしながら、一部を土研CAESARの研究材料に対して行ったため、見学研究者・技術者は一様に驚き、また、実際の既存橋梁現場の多くは四国地整管内であり、毎回、異なる実務技術者が立ち会い、見学していたので意見を直接またはアンケート形式で感想を尋ねたが、交通を止めることなく、かけや打撃でわかること、現場で確認しながらできることに、実用できるという意見が大半を占め、目視点検結果の定量化と振動測定結果との比較は、点検精度の確認につながるということがコンサル技術者にとって、やりがいがあるとの感想を得た。