

# 熊本地震で被災した補強された RC 部材の光学的計測法による再劣化機構の 解明

合田 寛基<sup>1</sup>、山口 浩平<sup>2</sup>

1 九州工業大学大学院 工学研究院 建設社会工学研究系

2 長崎大学大学院 工学研究科 システム科学部門

概要：再劣化機構を解明するために、3D 計測、FEM 解析モデルの作成、FEM 解析、実橋梁計測の実施、解析結果と実計測結果の比較・性能評価・構造特性同定、構造物ヘルスマニタリング、設計荷重の載荷・照査によるリスク評価、デジタルデータベースの構築というフローが考えられる。そこで本研究では、RCT 橋を対象として構造特性同定への適用性を検討することを目的とした。

## 1. はじめに

我が国では戦後急速に道路交通網が整備され、現在では全国に約 70 万橋の橋梁が存在している。このうち、建設後 50 年を超えた橋梁の割合は 2013 年では約 20%であったが、2033 年には約 70%にも増加する見通しである<sup>1)</sup>。現在の近接目視では、損傷や腐食等の材料劣化や外観変状がわかるのみで、「安全性」・「落橋の可能性」・「通行止めの必要性」・「補修の必要性」を明確に判断することは難しいのが実際である。加えて、市町村では財政難のために足場や高所作業車の手配が困難な場合がある。さらに、点検のための交通規制は経済的損失に繋がり、重要路線であれば交通規制が難しい場合もある。

このような課題に対処するために現在求められている維持管理手法は、安全な作業、効率的で信頼性が高く低コストである手法、リスクや

必要な措置が判断できる手法、設計図書がない場合の対処法、等々である。そのための解決方法として、構造特性同定を用いた性能・リスク評価が挙げられる。これは①設計図書がない場合は 3D 計測、②FEM 解析モデルの作成、③ FEM 解析、④実橋梁計測の実施、⑤解析結果と

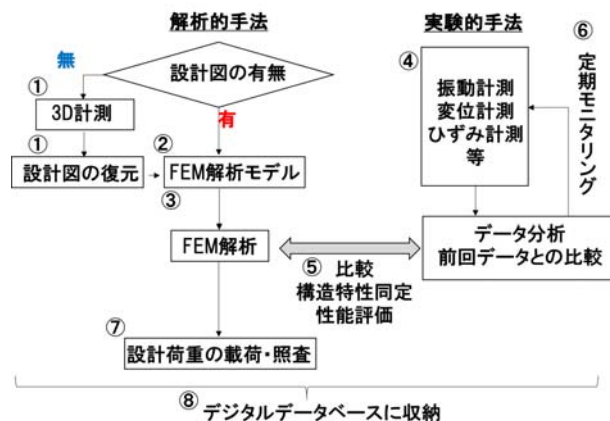


図-1 構造同定特性の概要



図-2 LDV



図-3 SMC



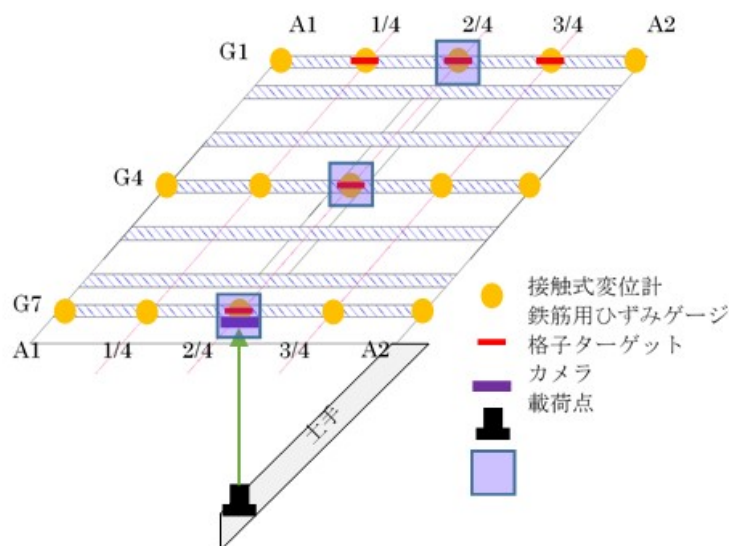
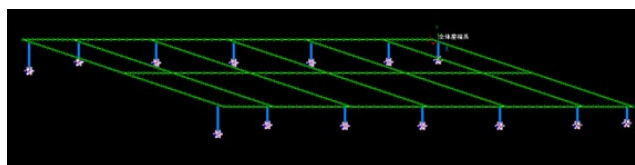
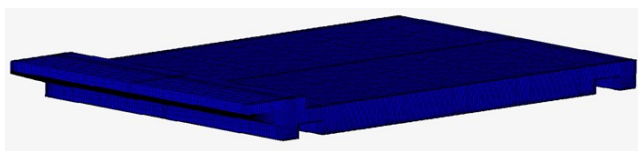


図-6 荷重点および主な計測位置



(a) 骨組みモデル



(b) ソリッドモデル

図-7 解析モデル

イト (200kN) を橋面に静かに載せて各種計測を行った。

まず、変位および主桁の曲げ補強筋のひずみ計測を行った。また SMC による非接触変位計測も同時に行い精度検証を行った。この際の真値は接触式変位計および接触式ひずみゲージの値とする。接触式変位計測は G1・G4・G7 の A1 支承部付近・支間 1/4 地点・支間 2/4 地点・支間 3/4 地点・A2 支承部付近の桁下部または桁下部付近の変位を計測した。曲げ補強筋のひずみ計測は、G1 の支間 1/4 地点・2/4 地点・3/4 地点、G4 の支間 2/4 地点、G7 の支間 2/4 地点の主鉄筋をはり出しひずみゲージを付着させひずみを計測した。非接触変位計測には SMC を使用した。この SMC とはカメラを用い、計測物に付着させた格子ターゲットを撮影し、その画像から変位を計測する光学的計測法である。この格子ターゲットを G7 の支間 2/4 地点の桁側面に付着し、約 4m 離れた土手からカメラで撮影し変位を計測した。

振動計測は、LDV を用いた。サンプリング周波数を 500Hz とし、計測時間は 100 秒で橋梁中央点をハンマーで加振した。また計測点は、G1・G2・G4・G6・G7 桁の支間長 1/4・2/4・

3/4 地点と G3・G5 桁の支間長 2/4 地点である。得られた速度波形をサンプリング点数 8192 で FFT 処理を行い、固有振動数を算出した。

#### 4. 数値解析の概要

本研究では、図-7 に示す弾性梁要素を使用し簡易に作成できる骨組み解析モデルと、詳細にモデル化したソリッド解析モデルを作成した。ソリッド解析モデルは橋梁を詳細にモデル化したものであり、実橋梁に近い挙動を示すと考えられることからこの結果を解析の真値とした。骨組み解析モデルでは支持位置が断面の図心になるため、その影響を考慮し、図心から桁下端部に剛体要素を伸ばしたモデルも作成した。コンクリートを 30MPa と 50MPa とわけたのは、G1、G7 は他の桁と建設時期が違い、異なるコンクリートであり、品質の低いものであったためである。また反発度法からも同様の結果が得られ、その値から各コンクリートの圧縮強度を求めた。これらの材料定数と解析ケースを表-2、表-3 に示す。なお、以降は G4 の支間長中央に荷重した場合についてのみ考察する。

## 5. 実測値と数値解析結果の比較および考察

### 5.1 変位

まず、接触式変位計と SMC による比較を表-4 に示す。同表より、SMC では十分な精度で計測できなかったことがわかる。これは、SMC を設置した土手の周辺にカウンターウェイトを吊り下ろしするラフタークレーンの作動による地盤の振動の影響が大きかったものと考えられる。

次に、表-5、図-8 (a) に計測値と解析値を示すが、G4 の計測点では解析値と計測値に大きな差が生じておらず、おおむね一致していると考えられるため、精度よく構造特性同定を行えたことと判断できる。これは G4 が載荷点直下であるため変位が 0.3mm 程度と比較的大きな値であったためであると考察できる。なお G1・G7 は、変位が微小であるため比較・検討を行う必要はないと判断した。

### 5.2 ひずみ

表-6、図-8 (b) より、G4 の計測点では解析値と計測値に大きな差が生じておらず、おおむね一致していると考えられるため、精度よく構造特性同定を行えたものと判断できる。これは変位の場合と同様に、G4 が載荷点直下であるためひずみが 40 $\mu$  程度発生し、精度よくひずみを計測・解析できたためであると考察できる。

### 5.3 固有振動数

図-9 に振動モード図、図-10 に 1 次固有振動数および 2 次固有振動数の計測値と解析値を示す。計測値については、数回の実計測の平均値に加えて、最小値および最大値も参考値として示した。同図より、計測値と解析値に大きな差が生じておらず、おおむね一致していると考えられるため、構造特性同定を行えたものと判断できる。ただし、著者らは本橋に比べて支間の長い鉄道鋼トラス橋についても同様な固有振動数を計測したが、その場合の計測値と解析値の差はわずか 1Hz であったのに対して<sup>5)</sup>、本橋の両者の差は 5~10Hz とやや大きい。これは、支間の長い鉄道鋼トラス橋の固有振動数は数ヘルツであるのに対して、コンクリート橋である本橋のそれは十数ヘルツと大きいためであると推察される。ただし、両タイプの橋梁とも、計測値と解析値の比で評価すれば、両者の差は大きくないことがわかる。

## 6. まとめ

変位、ひずみ、固有振動数を用いることによ

表-2 材料特性値

材料	コンクリート		鉄筋	
	種類	30MPa	50MPa	SD345-R25
ヤング係数	28GPa	33GPa	200GPa	200GPa
単位体積重量	24.5kN/m <sup>3</sup>		78.5kN/m <sup>3</sup>	
ポアソン比	0.15		0.3	
適用部材	G1, G7	G2~G6	主鉄筋	横桁鉄筋

表-3 解析ケース

解析ケース	解析モデル	支持位置	支持条件
i	骨組み解析	図心	ピン/ローラ
ii			ピン/ピン
iii		桁下端部	ピン/ローラ
iv			ピン/ピン
v	ソリッド解析	桁下端部	ピン/ローラ
vi			ピン/ピン

表-4 変位の比較

載荷点	接触式(mm)	SMC(mm)
G4	-0.06	-0.12
G7	-0.32	-0.42
G1	0.00	0.38

り、構造特性同定の可能性を検証することができた。しかしその中でも、固有振動数を用いた構造特性同定は高い精度ではなかった。この原因としてコンクリート橋特有の固有振動数が高周波であったことが考えられる。今後は、特に長支間の振動しやすい橋梁やその逆である短支間の振動しにくい橋梁などに区別して構造特性同定の評価を行い適用性を確認する必要があるとともに、解析モデルの精度向上の必要があると考えられる。

## 謝辞

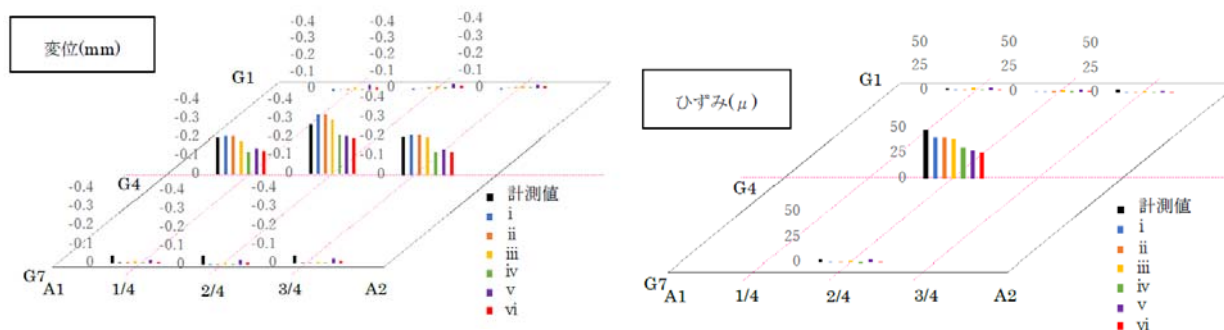
本研究の一部は、九州建設技術管理協会「建設技術研究開発助成」および内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の一部として取り組んだ成果である。また、本年 3 月まで長崎大学大学院修士課程の河村太紀氏に実計測および数値解析に多大な協力をいただいた。併せて、謝意を示す次第である。

表-5 変位の比較

載荷 ケース 1	計測値(mm)				解析値(mm)					
	1回目	2回目	3回目	平均値	i	ii	iii	iv	v	vi
G1-1/4	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01
G1-2/4	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01
G1-3/4	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
G4-1/4	-0.19	-0.20	-0.20	-0.19	-0.20	-0.20	-0.17	-0.12	-0.14	-0.12
G4-2/4	-0.23	-0.29	-0.28	-0.27	-0.32	-0.32	-0.29	-0.21	-0.20	-0.19
G4-3/4	-0.18	-0.21	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.19	-0.12	-0.13	-0.12
G7-1/4	-0.02	-0.05	-0.04	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00
G7-2/4	-0.04	-0.06	-0.04	-0.05	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01
G7-3/4	-0.02	-0.05	-0.04	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.01

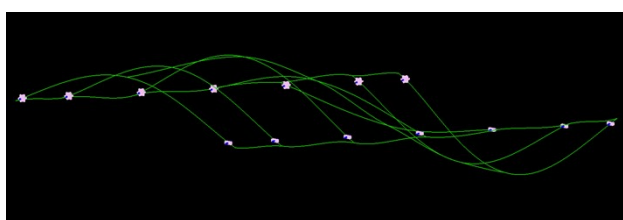
表-6 ひずみの比較

	計測値(μ)				解析値(μ)					
	1回目	2回目	3回目	平均値	i	ii	iii	iv	v	vi
G1-1/4	-1	4	2	2	0	0	2	0	2	1
G1-2/4	-1	1	-1	0	0	0	1	0	2	1
G1-3/4	7	1	-1	2	0	0	1	0	1	1
G4-2/4	46	48	48	47	40	40	38	30	27	25
G7-2/4	2	3	4	3	0	0	1	0	3	1

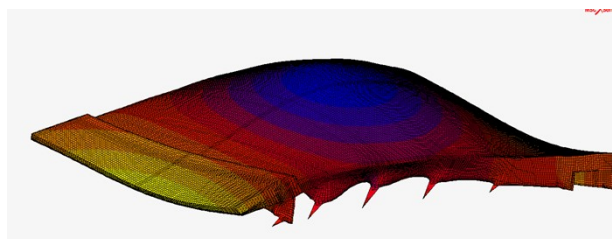


(a) 変位 (b) ひずみ

図-8 計測値と解析値の比較



(a) 骨組みモデル



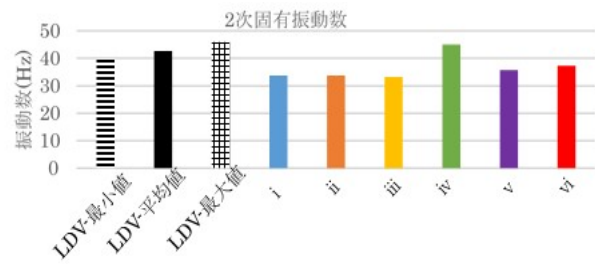
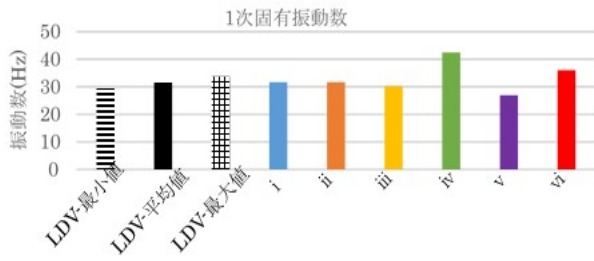
(b) ソリッドモデル

図-9 振動モード図

参考文献

1) [http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobo1_1.pdf)

2) 加藤 雅史, 島田 静雄: 橋脚振動特性の実測データによる統計分析, 土木学会論文報告集, 1983 巻 (1983) 338 号 p. 229-232, 1983.10.



(a) 1次固有振動数

(b) 2次固有振動数

図-10 計測値と解析値の比較

- 3) 上半文昭：構造物診断用非接触振動測定システム「U ドップラー」の開発，鉄道総研報告，第 21 巻，第 12 号，pp.17-22，2007.12.
- 4) 森本吉春，藤垣元治，柁谷明大：サンプリングモアレ法による変位・ひずみ分布計測，Journal of the Vacuum Society of Japan，54 巻 (2011) 1 号 p. 32-38，2011.3.
- 5) Kohei YAMAGUCHI, Hiroshi MATSUDA, Taiki KAWAMURA, Takeshi SAIGYO, Keisuke KIMOTO and Takafumi NISHIKAWA : Structural vibration identification of bridges by 3D measurement FE analysis and the actual vibration measurement, Proc. of SHMII-8 'Structural Health Monitoring in Real-world Application', CD-ROM, 2017.12.