

橋梁管理支援システムの開発について

福岡国道事務所 管理第2課 芹口 臣也
深浦 貴之

1. はじめに

わが国では、高度成長期に集中的に建設された道路構造物が、今後一斉に高齢化時代を迎える。これに伴い、これら道路構造物の補修や更新需要が増大すると予測され、計画的かつ効率的な維持管理の確立が重要課題となっている。

維持管理計画を立案するにあたり、道路構造物を劣化させる主要因の一つである“交通荷重の実態”を把握することは不可欠であるが、これまで交通量調査は幅広く行われているものの、車両重量についてのデータは限られているのが現状である。そこで、供用中の橋梁に「秤(はかり)」の役割をさせることで、低コストかつ交通流を乱すことなく走行荷重を取得することが可能である走行車両重量計測システム(Bridge-Weigh-In-Motion: 以下BWIMという)の開発検討を行った。

また、橋梁の適切な補修・補強を実施するにあたっては、構造物の実挙動を的確に把握する必要があるが、一般的に応力計算には慣用計算法・格子桁理論が用いられており、これらから求まる応力や変位は必ずしも構造物の実際の挙動と合うものでなく、設計時に仮定された挙動と大局的には合致するものの、異なる点も多い。そこで、適正な橋梁の損傷予測を行う上で不可欠である“橋梁の実挙動”を把握するための手法として、3次元FEM解析の有効性を検証した。

2. 走行車両重量計測システム(BWIM)の概要

交通流を乱すことなく、簡便に走行車両の重量を計測する技術のひとつとして研究されているのが、橋梁を用いたBWIMである。走行車両により橋梁部材に発生するひずみとその部材の影響線から走行荷重を逆解析するものである。

BWIMの概念を図-1に示すが、まず、重量が既知の試験車両を走行させ、測定点(主桁下フランジ)のひずみ応答から影響線を求める。つぎに、任意の時刻における走行位置の影響線縦距と軸荷重とを乗じ、主桁ひずみの理論値を得る。この理論値と実測値との差が最小となる様に走行荷重を算出する。影響線のイメージを、図-2に示す。

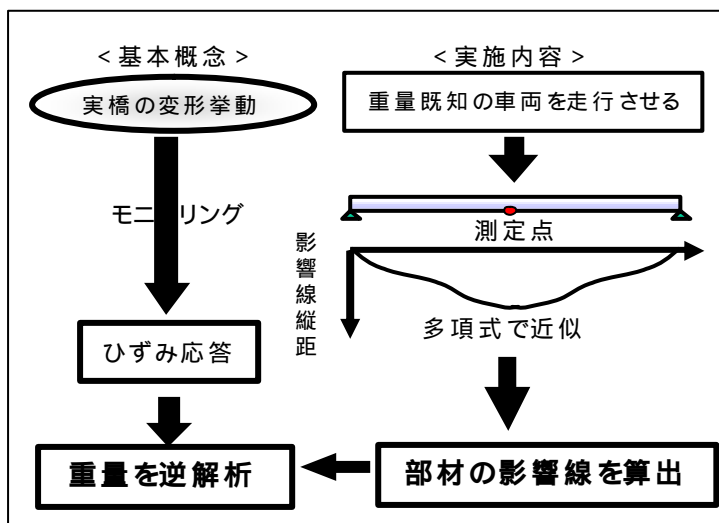


図-1 BWIMの概念

影響線縦距と軸荷重とを乗じ、主桁ひずみの理論値を得る。この理論値と実測値との差が最小となる様に走行荷重を算出する。影響線のイメージを、図-2に示す。

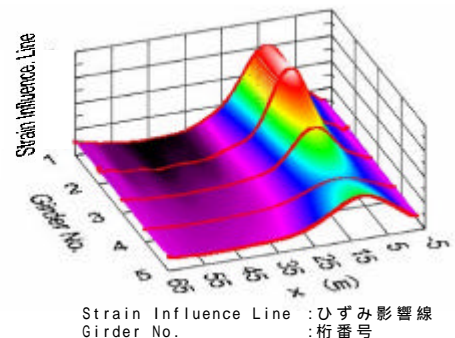


図-2 主桁の影響線(上り線)

3. 対象橋梁

BWIMは、前述したとおり、橋梁各部位のひずみ計測結果から走行荷重を推定するものであるため、対象橋梁としては、明確な応答値が得られる鋼橋が適する。

本検討対象橋梁は、大型車混入率が比較的高く、かつ下り線橋梁が架設中であり、供用開始前に静的載荷試験が実施できるという利点から、一般国道201号の篠栗橋

を対象橋梁として選定した。篠栗橋は、二級水系・多々良川を横架する上下線分離構造であり、橋長は上り線が69.4m、下り線が80.5mで、上部工形式はいずれも鋼2径間連続鈹桁橋である。

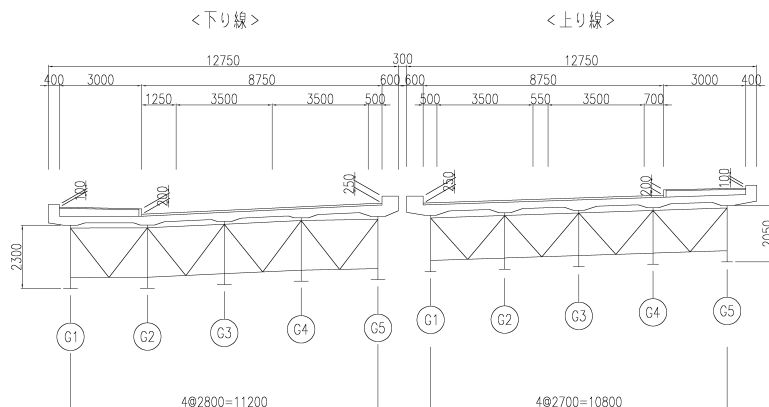


図-3 篠栗橋上部工断面

表-1 橋梁諸元

項目	下り線	上り線
道路種別	第3種1級	
上部工型式	鋼2径間連続鈹桁橋 (RC床版 / 5主桁)	
下部工型式	逆T式橋台、張出式橋脚	
架設年度	2002年度	1988年度
橋長	80.5m	69.4m
支間長	26.50m+53.00m	38.85m+29.80m
斜角	[A1] 71°25'27" [P1] 32°00'00" [A2] 60°00'00"	[A1] 70°31'40" [P1] 32°00'00" [A2] 60°00'00"

4. BWIMの開発検討

BWIMの開発検討を実施するにあたり、重量が既知の車両を走行させることで影響線を算出するとともに、種々の走行パターンに対する重量推定精度を把握する目的で、試験車両走行試験を実施した。BWIMの開発検討は、平成14~15年度にかけて実施しているが、各年度で交通形態が異なり、平成14年度では上下線対面通行、平成15年度では下り線橋梁の新設に伴い、上下線各2車線の片側通行となっている。ここでは、現在の交通形態である平成15年度の通行状態に対して実施した試験の結果を述べる。

表-2 計測箇所

試験分類	計測項目・計測位置		数量	備考
	計測項目	設置位置		
走行試験 (上り線)	主桁のひずみ	主桁下フランジ	5点	溶接型ひずみゲージ
	垂直補剛材のひずみ	垂直補剛材上部	4点	溶接型ひずみゲージ
走行試験 (下り線)	主桁のひずみ	主桁下フランジ	5点	溶接型ひずみゲージ
	垂直補剛材のひずみ	垂直補剛材上部	4点	溶接型ひずみゲージ

試験車両（20t、15tダンプトラック）を各種パターンで走行させ、影響線の算出に必要な下フランジのひずみ、および補足情報（速度の算出、走行車線の判別）に必要な垂直補剛材のデータを取得した。図-4に計測箇所を示すが、図中の が下フランジのひずみ計測位置、 が垂直補剛材のひずみ計測位置である。尚、断面図は上り線の計測箇所を示すが、下り線は垂直補剛材の計測位置が異なるのみである。実施した走行パターンを表-3に、状況写真を図-5に示す。

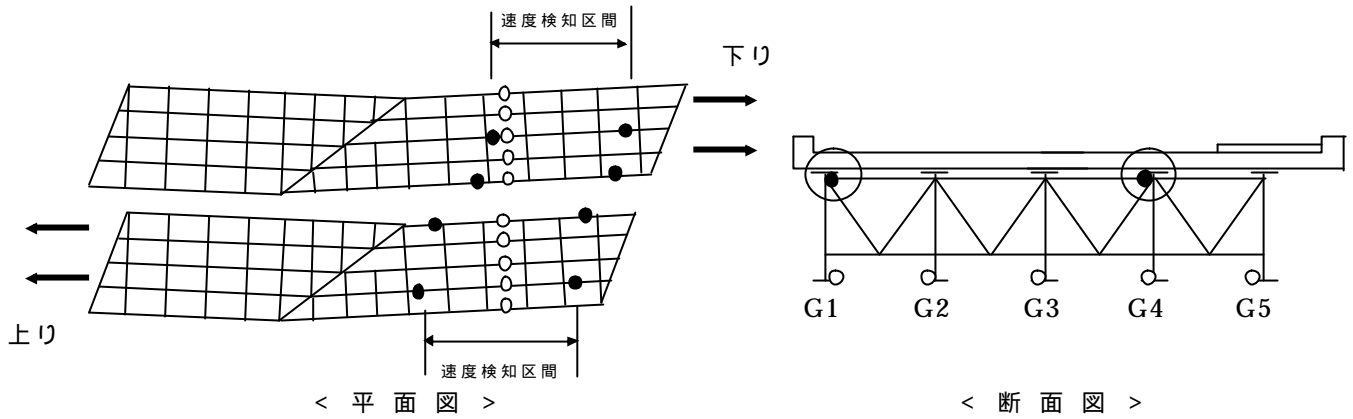


図-4 計測箇所

表-3 走行パターン

パターン名	走行状態	
パターン1	単独走行	20tおよび15t各々の単独走行
パターン2	連行	20tと15tの連行
パターン3	並走	20tと15tの並走
パターン4	連行+並走	20tと15tの連行+20tの並走
パターン5	一般車両混入状態での単独走行	20t
パターン6	一般車両混入状態での連行	20tと15tの連行
パターン7	一般車両混入状態での並走	20tと15tの並走



パターン6(下り線走行時)



パターン7(上り線走行時)

図-5 走行試験状況写真

走行試験結果のうち、パターン 1~4 の結果を図-6 に示す。パターン 3,4 の並走時に最大誤差が 15%程度となっているものの、平均値としては誤差がほぼ 0 に収束する傾向にあり、良好な精度が得られている。また、一般車混入の走行パターン 5~7 においても、同様の精度で車両重量推定が行われていることを確認している。

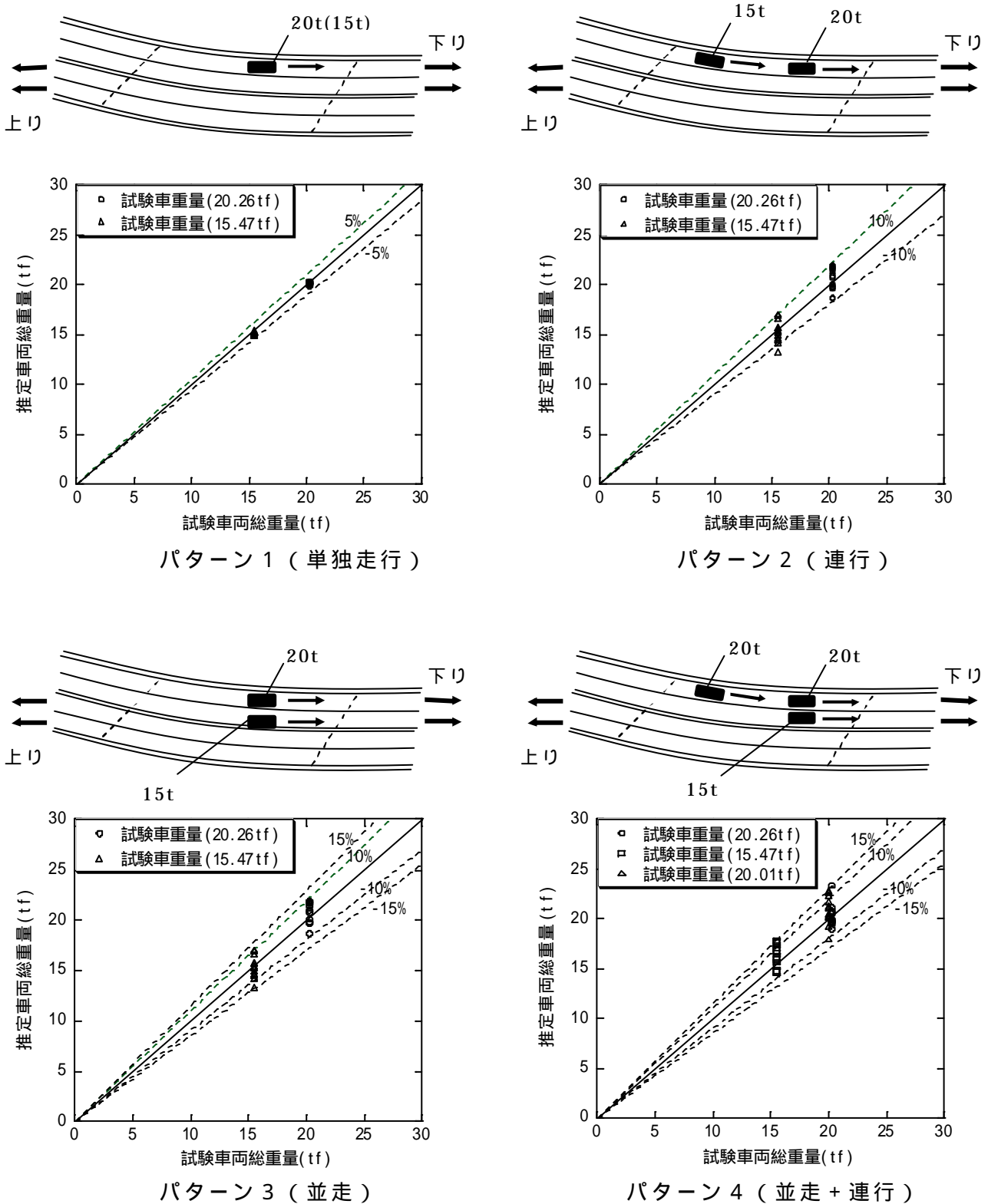


図-6 走行試験結果 (走行パターン図および精度検証グラフ)

5. 自動計測システムの開発

BWIM を用い、重車両の重量、画像、速度、走行車線の情報を、長期間にわたって蓄積する“自動計測システム”を開発した。本システムは、常時、上下線計4車線に対して走行車両による測定点のひずみ応答を監視し、ある一定以上の車両重量を検知してBWIMを実行し、車両重量、走行速度、走行車線を算出するとともに、該当車両のCCTV映像を自動で蓄積するものである。本システムのブロック図を図-7に示すが、光ファイバーを活用することで、リアルタイムでの遠隔地モニタリングを可能とした。

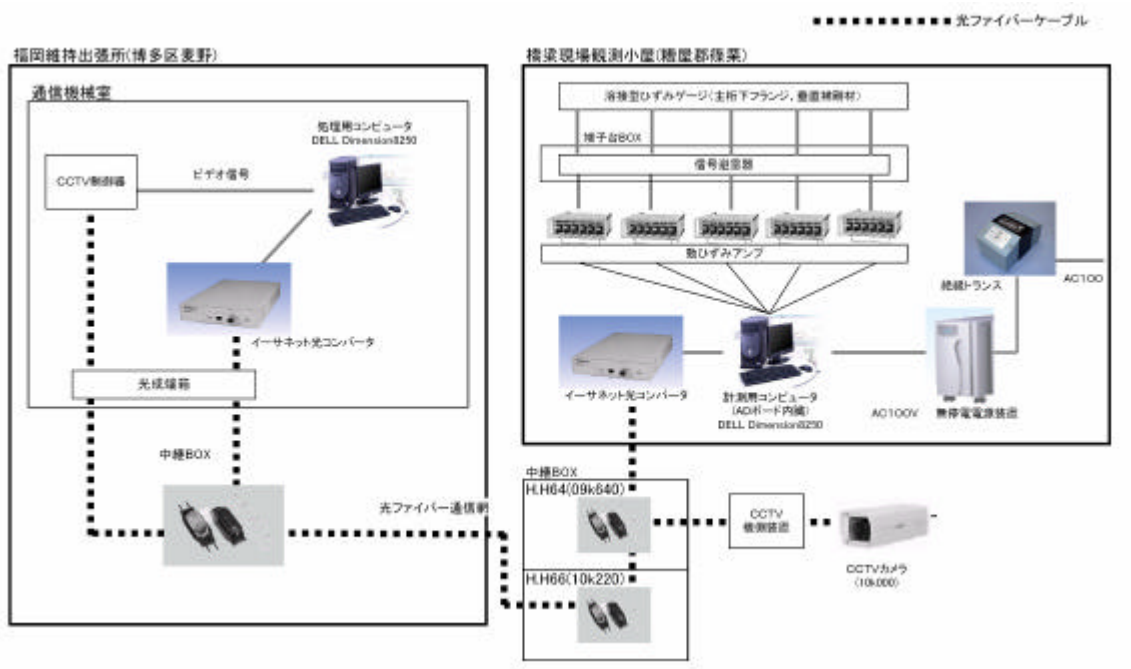


図-7 システムブロック図

プログラムは、維持出張所・通信機械室内PCにおける“画像収録プログラム”と、現場観測小屋内PCにおける“動ひずみ計測プログラム”とから構成しており、動ひずみ計測プログラムには“BWIMによる重量推定プログラム”をサブルーチンとして組み込んでいる。

本システムの有効性を確認後、3ヶ月間の長期計測を実施した。長期計測における画像処理結果の一例を図-8に示す。図-8は、下り線の右車線を重車両が通行している状況であり、画面下側に走行車線と車両重量を表示している。

また、長期計測により収集したデータを車両重量ごとに整理した結果を図-9に示す。本結果によれば、20t以上の重車両のうち、65%以上が20~25tであることが分かるが、80tを超える重車両をはじめとし、設計活荷重を上回ると考えられる車両の走行が確認されている。



図-8 画像処理状況

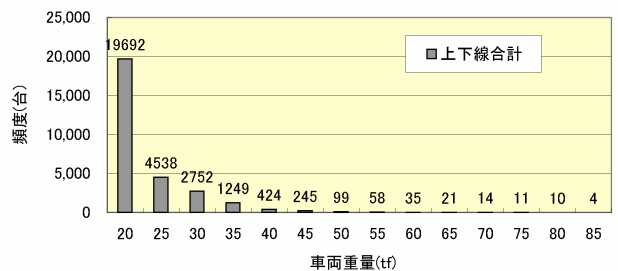


図-9 車重別頻度グラフ（90日間）

6. 3次元 FEM 解析

篠栗橋上下線各々に対して3次元 FEM 解析モデルを作成し、載荷試験により得られた実測値と解析結果とを比較することで、FEM 解析の有効性を検証した。下り線のモデルに対し、下フランジのひずみに着目した実測値と格子解析との比較結果を図-10 に示す。モデル要素は、主桁横桁、垂直・水平補剛材を4節点シェル要素、対傾構、横構を2節点梁要素、床版を8節点ソリッド要素とし、鋼材のヤング係数は $2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比は 0.3、床版のヤング係数は主桁の $1/7$ 、ポアソン比は 0.167 としている。尚、実測値は、供用開始前に実施した静的載荷試験結果を示す。

図-10 より、FEM 解析と実測値は、各主桁下フランジのひずみ値がよく一致しており、FEM 解析が実挙動を良く捉えていることが分かる。また、格子解析においては、下フランジの応答値の傾向は概ね一致しているものの、ひずみ値が 1.5 倍以上となっていることが分かる。これは、格子解析は非合成桁、FEM 解析は合成桁(主桁と床版の結合条件を剛としている)として解析しているため、床版の主桁作用により、FEM 解析結果は格子解析と比較してひずみ値が小さくなっていることに起因している。すなわち、本橋梁は合成桁としての挙動を示していることが明らかである。

この結果より、FEM 解析の有効性が検証されたとともに、補修補強設計を実施するにあたり、一般的に用いられる格子解析ではなく、FEM 解析を用いることで、過大な補修補強工事を避け、実挙動に適合したコストミニマムの補修補強計画立案への可能性が得られた。

7. まとめ

BWIM および FEM 解析の有効性が検証されたとともに、自動計測システムにより、容易に実交通荷重を取得することが可能となった。今後、これらを維持管理計画へ活用する方法を具体化することで、実用ツールとしての使用が見込まれる。

8. 今後の課題点

実用化に向けての課題点としては、以下の項目が挙げられる。

- (1)現在の BWIM は試験車両(ダンプトラック)をベースとして構築しているため、多種(多軸車等)の走行時の精度を確認する必要がある。
- (2)自動計測システムで得られるデータを、今後の活用方法を検討した上で適切なフォーマットに整理する必要がある。
- (3)連続計測を行う際の維持管理コストを算出し、連続計測の費用対効果を明らかにすることで、今後の適切な計測計画を立案する必要がある。

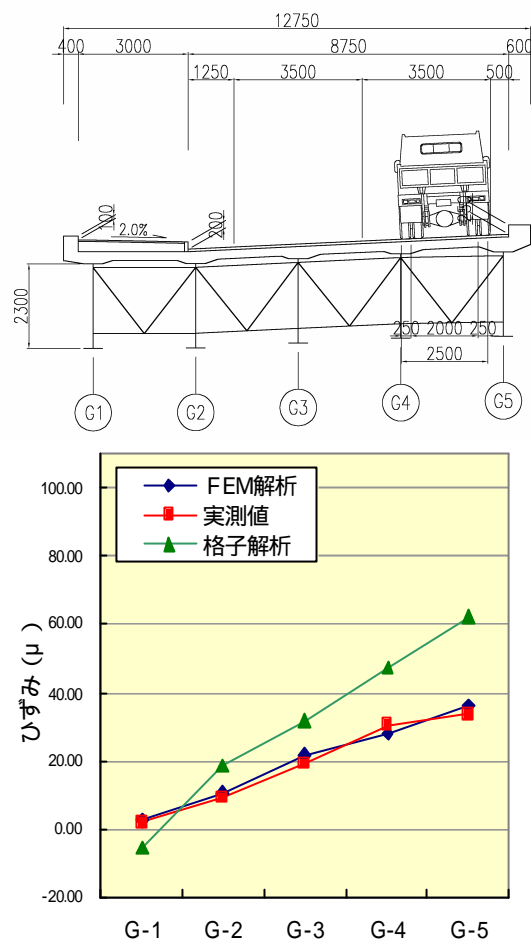


図-10 荷重載荷図と比較グラフ