

実橋 RC 床版のたわみ計測と損傷度の解析的検討

Deflection measurement of an RC slab in a highway bridge and analytical evaluation of its damage

北海道大学工学部
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学院

○学生員 武田 結希 (Yuki Takeda)
正 員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)
フェロー 林川 俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
正 員 何 興文 (Xingwen He)
学生員 嶋田 琢磨 (Takuma Shimada)

1. はじめに

現在我が国で供用されている橋梁の供用年数分布をみると、昭和 40～50 年代に建設された橋梁が多く、高度経済成長期に大量建設時代があったことが分かる。この時代に建設された橋梁の供用年数が、約 10 年後には 50 年を超えることで、高齢化した橋梁が急増することになる。橋梁の架け替えが難しい社会情勢のなか、これらの既存橋梁に補修、補強を施すことで供用期間を延長させ、さらに数十年供用していくことが求められている。

これまでに橋梁の架け替え理由となった道路橋上部工の損傷内訳をみると、床版の破損が最も多く全体の 48%を占め、次にコンクリート桁の亀裂・剥離が 39%、鋼材の腐食が 8%、その他が 5%と報告されている¹⁾。床版は直接交通荷重を受ける部材であるため、その損傷は疲労によるものが多く、疲労損傷は経過年数の増加に伴い加速度的に進行する。また、床版は橋梁において占める面積が多い部材であることから、床版は維持管理において重要かつ主要な対象となっている。

本研究では RC 床版を対象としているが、RC 床版は疲労により一方向ひび割れから、二方向ひび割れ、亀甲状ひび割れ、陥没破壊へと損傷段階が進んでいくことが明らかにされている。実橋においてはこうした疲労に加えて、環境要因による材料劣化も複合的に加わる場合がある。よって、既存 RC 床版の劣化度を評価するには、床版の変形や損傷の計測および解析により現状を適切に把握する必要がある。

本研究では、供用中の橋梁の RC 床版を対象として、大型車の載荷による RC 床版の変形挙動を計測した。また、有限要素解析により床版のたわみを算出した。さらに、床版を橋軸直角方向に両端固定梁とモデル化して計算したたわみの理論値と実験における計測値とを比較した。これらにより RC 床版の損傷メカニズムの検討と損傷度に関する考察を行った。

2. 実橋計測の概要

2.1 対象橋梁

本研究では、主桁 5 本からなる 3 径間連続合成桁の実橋において載荷実験を行った。この橋梁は 1985 年に完成し、供用開始から 27 年が経過している。床版下面には、二方向ひび割れおよび亀甲状ひび割れが見られる。これらのひび割れでは、遊離石灰の析出および内部鉄筋の腐食による錆汁が生じているため、貫通ひび割れに発

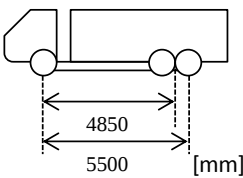


図-1 大型車車軸間長

表-1 大型車重量

総重量	前軸重	後前軸重	後後軸重
211.68[kN]	58.80[kN]	76.44[kN]	76.44[kN]

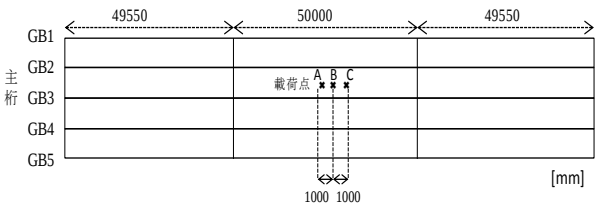


図-2 橋梁平面図

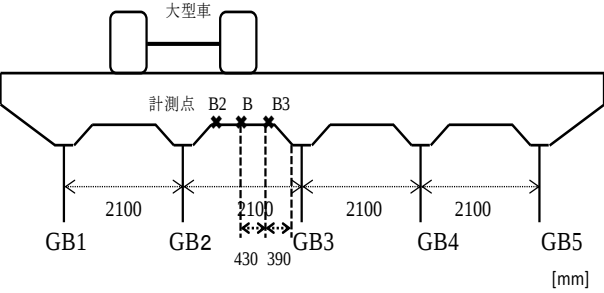


図-3 橋梁断面図

展している可能性がある。

2.2 載荷方法

RC 床版のたわみ変位の計測を行うにあたり、大型車による載荷を行った。

大型車は、前輪 1 軸で後輪 2 軸の合計 3 軸の車両であり、後輪 2 軸のタイヤはダブルタイヤである。それぞれの軸を前軸、後前軸、後後軸と呼び、図-1 に車軸間長を、図-2 に総重量と各軸重を示す。

3. たわみ変位計測

3.1 載荷点および計測点

たわみ変位を測定する計測点は、図-2 の橋梁平面図における橋脚 P2-P3 間および主桁 GB2-GB3 間である。ここに1[m]の間隔で A、B、C の載荷点を設定する。

図-2 の B 点での橋梁断面図を図-3 に示す。橋脚 GB2-GB3 間に 3 箇所の計測点を取る。支間中央部を B、GB2 側ハンチ部止端を B2、GB3 側ハンチ部止端を B3 とし、変位計を設置し計測点とする。

計測器具は、図-4 に示すように、橋梁の中間支材上に鋼製角パイプを単純支持で設置し、その上に変位計を取り付ける。これにより、橋梁に荷重が作用した際に生じる橋梁の断面変形や、主桁の変形の影響が、計測値に含まれることを軽減するようにしている²⁾。

3.2 計測方法

まず、大型車の前輪を載荷点 A に位置させ、その際に計測点 B2、B、B3 におけるたわみ変位量を記録する。次に、大型車を移動させて前輪を載荷点 B に位置させたときと、さらに移動させて前輪を載荷点 C に位置させたときの、計測点 B2、B、B3 におけるたわみ変位量を記録していく。

前輪が載荷点 C を通過した後は、後輪を同様にして載荷点 A、B、C に順に位置させて、それぞれの場合における計測点 B2、B、B3 でのたわみ変位量を記録する。なお、後輪は 2 軸であるため、2 軸の中間位置を載荷点に位置させている。

ここまでを 1 回の載荷実験とし、これを 3 回繰り返す行う。

3.3 計測結果

3 回の載荷実験のたわみ変位量を、前輪載荷時について図-5 に、後輪載荷時について図-6 に示す。

図-5 および図-6 から、前輪載荷時のたわみ変位よりも後輪載荷時のたわみ変位の方が大きいことが確認できる。これは、前輪荷重よりも後輪荷重の方が大きいためである。また、支間中央部に荷重を与えているため、左右ハンチ部の B2 および B3 よりも B でのたわみ変位が最も大きいことが確認できる。

設定した載荷点 A、B、C のうち、計測点直上である B に荷重を載荷した場合のたわみ変位が最大値を取り得ると考えられる。しかしながら、図-5 から、前輪荷重載荷時では、載荷点 C に載荷したときの計測値が最も大きくでている。また、図-6 から、後輪荷重載荷の場合では、載荷点 A と B の計測値が非常に近い値を示している。

これは、使用した大型車の後輪が 2 軸であるが、後前軸と後後軸の中央を後輪位置とし、それぞれの載荷点に合わせているため、実際に載荷をしている後前輪および後後輪の影響があるものと考えられる。また、前輪の影響についても検討する必要がある。

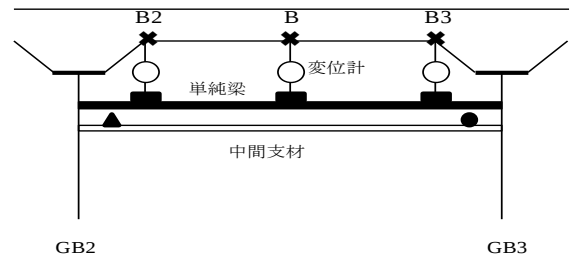


図-4 たわみ変位計測器具

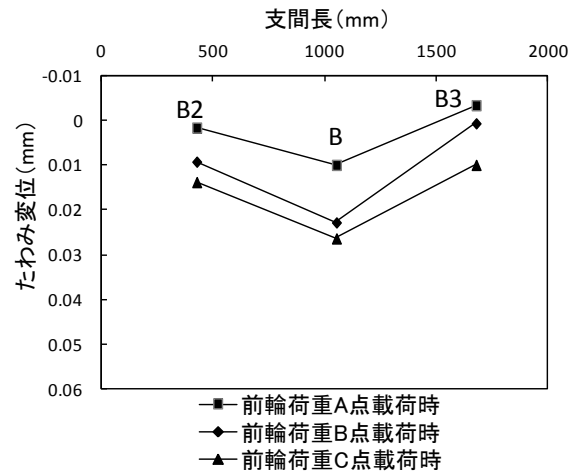


図-5 前輪載荷時の実測たわみ変位

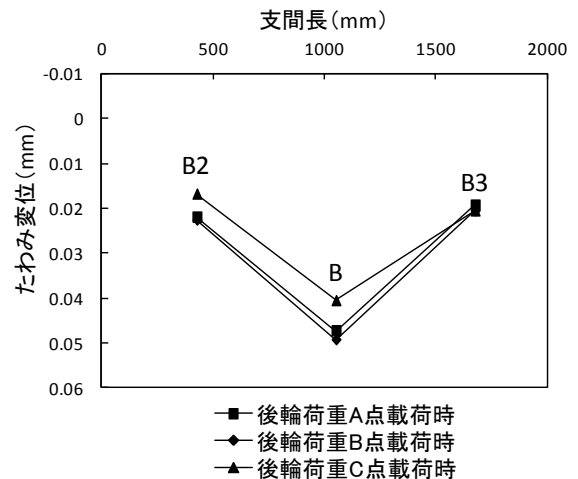


図-6 後輪載荷時の実測たわみ変位

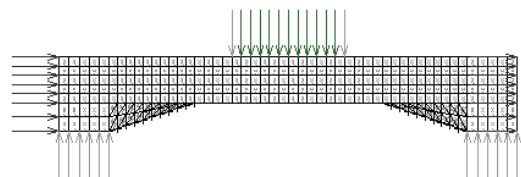


図-7 有限要素解析モデル

4. 有限要素解析

4.1 解析モデル

図-7は有限要素解析モデルであり、載荷実験を行った橋梁床版 GB2—GB3 間の 2 次元モデルである。境界条件は単純化しており、側面を両端固定とし鋼桁フランジとの接触面も固定としている。解析は線形弾性として行った。

コンクリートの材料特性は、弾性係数 $22.5 \times 10^3 [\text{N/mm}^2]$ 、ポアソン比 0.2 としている。鉄筋の材料特性は、弾性係数 $20.0 \times 10^4 [\text{N/mm}^2]$ 、ポアソン比 0.3 である。

用いた鉄筋はすべて異形鉄筋であり、圧縮鉄筋、引張鉄筋およびハンチ筋をモデル化している。その詳細を表-2に示す。

4.2 解析方法および解析結果

非線形有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いて解析を行う。実験で用いた大型車の後輪荷重を支間中央部に加えて、鉛直方向の変位量を得る。たわみ変位の最大値は、床版下面の支間中央部で $0.0688 [\text{mm}]$ であった。

5. 理論たわみ

5.1 両端固定梁モデル

理論たわみを、両端固定梁モデルにより算出する。モデル化するにあたり、両端のハンチ部を省略し、単位奥行あたりの等断面二次元梁とする。

たわみ変位の計測を行った主桁 GB2—GB3 間に注目し両端固定梁をモデル化したものを図-8に示す。載荷条件は、実橋計測における後輪荷重を B 点に載荷したときと同様とする。

5.2 最大たわみ変位

図-8の両端固定梁モデルにおける全断面有効時、曲げひび割れ発生時および引張側コンクリート無視時の最大たわみ変位と支間長の関係を図-9に示す。また、有限要素解析で得られた最大たわみ変位を示して拡大したものを図-10に示す。

両端固定梁モデルは、ハンチ部を省略した等断面梁であるため、等価な支間長を得る必要がある。図-10において、支間長 $1518 [\text{mm}]$ で有限要素解析による最大たわみ変位の値と全断面有効時の最大たわみ変位の値が一致する。したがって、両端固定梁モデルにおいて、支間長を $1518 [\text{mm}]$ として理論たわみ曲線を求める。

5.3 理論たわみ曲線

図-8の両端固定梁モデルの全断面有効時、曲げひび割れ発生時および引張側コンクリート無視時の理論たわみ曲線と、計測点 B2、B、B3 での実測たわみ変位を図-11に示す。

支間中央部の計測点 B でのたわみ変位は全断面有効時の理論たわみ値より $0.02 [\text{mm}]$ 小さい。ハンチ部の計測点 B2 および B3 のたわみ変位は全断面有効時の理論たわみ値とほぼ同値である。

次式は、たわみによる床版の劣化度判定を行えるとして、松井らによって提案された判定式である。

表-2 鉄筋の寸法

	公称直径 d[mm]	公称断面積 A _s [mm ²]	本数 [本]	断面積 [mm ²]
圧縮鉄筋 (D19)	16.5	286.5	4	1146
引張鉄筋 (D19)	16.5	286.5	8	2292
ハンチ筋 (D16)	15.9	198.6	4	794

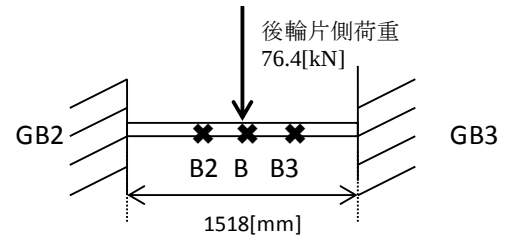


図-8 両端固定梁モデル

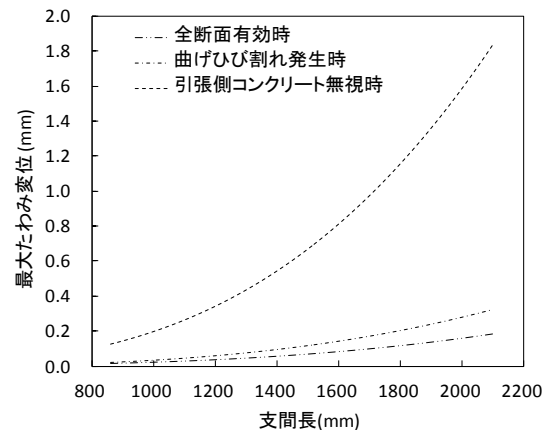


図-9 最大たわみ変位と支間長の関係

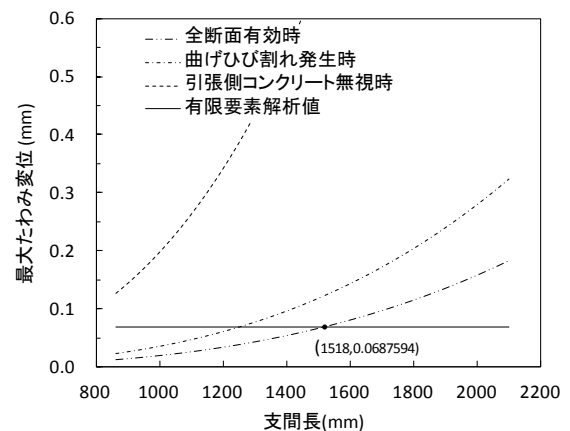


図-10 最大たわみ変位と支間長の関係（拡大図）

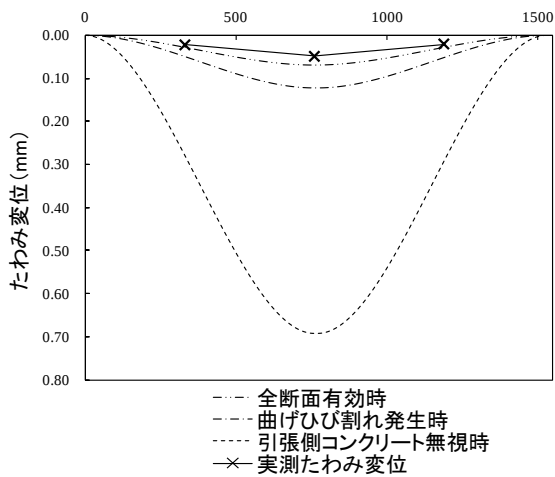


図-11 理論たわみ曲線と実測たわみ変位

$$D=(w-w_0)/(w_c-w_0)$$

ここで、 D ：劣化度 ($0 \leq D \leq 1$)

w ：支間中央部 B における実測たわみ

w_0 ：全断面有効時の支間中央における理論たわみ値

w_c ：引張側コンクリート無視時の支間中央における理論たわみ値

本研究の結果から本式を用いると、実測たわみ値が全断面有効時のたわみ値より小さいため、計算上は $D=-0.03$ となるが、これは劣化がほとんど生じていないことを意味している。

6. まとめ

本研究では、実橋の RC 床版において、大型車の載荷によるたわみ変位の計測を行った。後輪荷重載荷時に最大たわみ変位は $0.049[\text{mm}]$ であった。

また、有限要素解析において両端固定の支持条件では最大たわみ変位は $0.069[\text{mm}]$ であった。

両端固定梁モデルの支間長を有限要素解析の結果を参考に決定し、全断面有効時、曲げひび割れ発生時および引張側コンクリート無視時のたわみ曲線を算出し比較した。

計測値は、全断面有効時のたわみ曲線に近く、劣化度は $D=-0.03$ であったため、劣化はほとんど生じていないものと考えられる。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版, 設計・施工と維持管理 森北出版, 2007.
- 2) 松井繁之, 前田幸雄：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案, 土木学会論文集, 第 374 号, pp 419-426, 1986.
- 3) 小林和夫：コンクリート構造学 森北出版, 2007.
- 4) 林秀侃, 吉川紀, 澤登善誠：24 年経過した高架橋の現地載荷実験, 第 46 回土木学会年次学講演会講演概要集, 46 巻 1 号, 1991.