

FWD による床版の健全度評価手法の検討

Examination of Evaluation Technique of Decks Soundness by FWD

関口幹夫*, 國府勝郎**

Mikio SEKIGUCHI, Katsuro KOKUBU

*正会員 東京都土木技術研究所 技術部 (〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15)

**フェロー会員 工博 東京都立大学大学院 教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

It is important to understand the level of fatigue damage to evaluation the soundness of reinforced concrete (RC) decks on bridges. In general, crack surveys and loading tests are used for this task. These surveys cannot be used for all bridges due to high labor and cost requirements. This study investigates a verification method using a FWD, usually used for pavement testing, to measure deflection under impact load and hence evaluation the fatigue level of RC decks on bridges. This paper summarized the investigation results on RC decks of Tamasuido bridge.

Key words: FWD (falling weight deflectometer), deflection for impact load, soundness, fatigue damage
 キーワード: FWD(フォーリングウェイトデフレクトメータ), 動的たわみ, 健全度, 疲労損傷

1. はじめに

道路橋 RC 床版の健全度調査では、輪荷重による疲労損傷の状態を把握することが重要である。一般的な健全度調査法には、ひび割れ発生状況の調査や載荷試験による力学的な検討が行われ、力学的な検討では特に床版のたわみの検討が重要である¹⁾。また、鋼板接着など床版裏面での補強効果の調査では、床版裏面のひび割れが確認できないため、叩き点検による浮きや剥離調査および載荷試験による力学的な検討がある。これらの調査手法によって橋梁全体の床版を評価しようとすると、多大な労力と経費が不可欠であり、全ての橋梁に適用することは極めて困難である。

そこで、簡便にたわみ量を測る方法として、舗装の動的たわみ測定機 (FWD: フォーリングウェイトデフレクトメータ) を使用して、舗装面から衝撃荷重を与えたときのたわみ量を基に健全度や損傷度を評価する

手法について検討を行っている²⁾。

本報文は、多摩水道橋(旧橋)の床版に FWD を適用した調査結果について検討した。

2. 調査概要

(1) 概要

多摩水道橋 (旧橋) は、東京都の多摩川に架かる図-1 に示すフラットトラス形式で、昭和 28 年竣工の二等橋であり、支間長 31.64m @ 11 径間で構成されている。床版支間は 1.7m, 床版厚は 240mm で、ハンチの無いフラットスラブ形式である。

本検討では、図-1 に示す 2 径間を調査対象とした。P1-P2 径間はすべての床版 (未補強床版, 鋼板接着補強床版, 鋼板+縦桁増設併用補強床版) について、FWD (2 機種) を用いてたわみ量の測定を行った。2 パネルは、下面のたわみ量をひずみゲージ式リング変

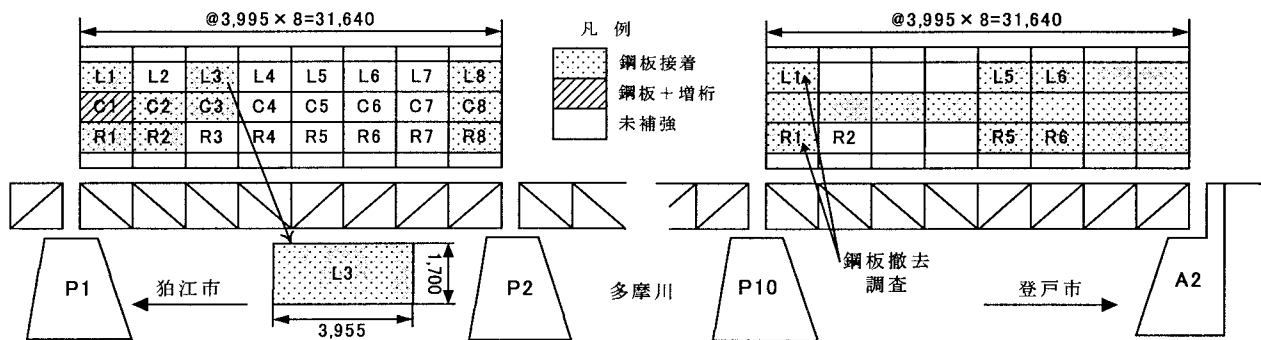
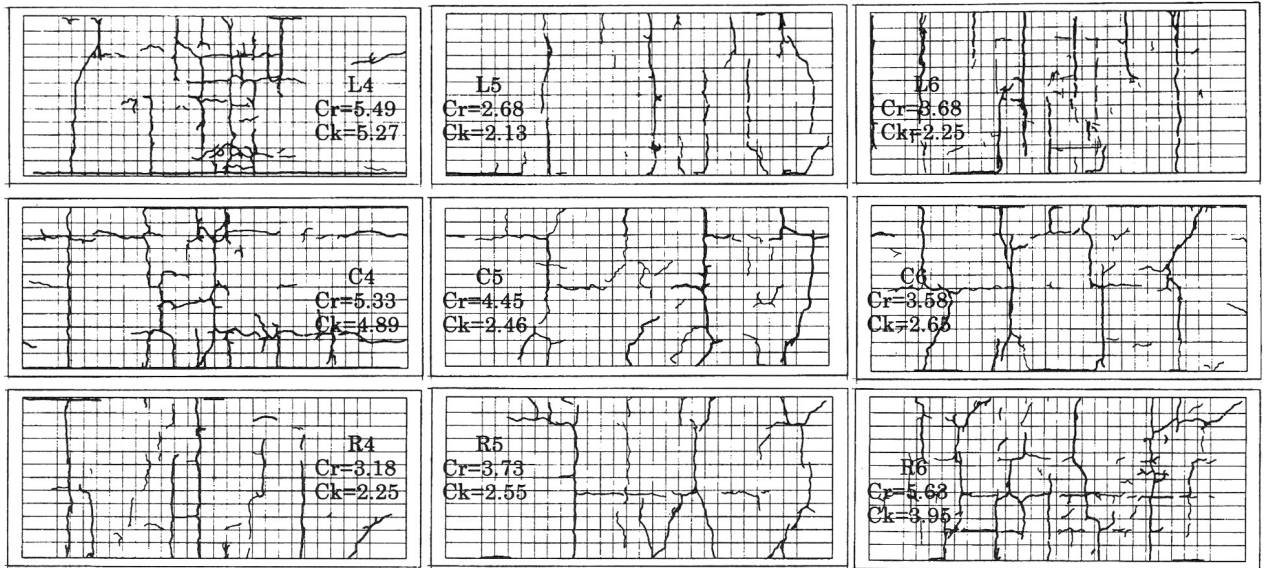


図-1 多摩水道橋の調査箇所図



凡例 Cr : ひび割れ密度 (m/m^2), Ck : 角欠ひび割れ密度 (m/m^2)

図 - 2 P1-P2 径間の床版ひび割れ図

位計を用いて同時に測定した。P10-A2 径間では、鋼板補強床版 7 パネルの調査の内 2 パネルについては、鋼板の撤去前・後に FWD たわみ量を測定して、補強効果の検討を行なった。また、ひび割れ密度とたわみの関係についても検討を行なった。旧橋は平成 7 年度から架け替えのため撤去工事が行われた際に調査を行った。

(2) 床版のひび割れ状況

調査時点の P1-P2 径間の床版のひび割れ状況を図-2 に示す。平均ひび割れ密度は $4.24 m/m^2$ と大きくはないが、橋軸直角方向に入っているひび割れ幅が大きく、一部の床版では桁に漏水が見られ、鉄筋の腐食が進行している。床版の補修履歴は昭和 58 年に鋼板接着工法により、また損傷の著しい箇所には鋼板接着と縦桁増設工法の併用で補強されている。

(3) たわみ量の測定

たわみ測定位置は床版中央点に FWD の落下衝撃荷重を作用させ、FWD たわみ測定装置による上面たわみ量を測定した。ただし、図-1 に示す L3 と L4 は下面にセットした写真-1 のリング変位計より同時にたわみを測定した。下面の変位計位置は、床版中央と主筋方向 2 点 (载荷点から 200mm 間隔)、配筋方向 1 点 (载荷点から 900mm) 合わせて 4 点とした。下面変位計の設置方法は、主桁(または縦桁)に変位計を取り付ける治具 (アングル) を固定している。このため、床版上面から FWD によって、床版中央を加振すると、振動は床版→主桁→治具→変位計と伝播して、変位計の応答にも影響が発生する。加振時の変位計の応答は、図-3 に示すように第 1 波目にピークがあるものと 2 波目以降にピークが発生するタイプがある。過去の調査経験から 2 波目以降にピークがあるタイプは、桁のたわみ成分や変位計取付けアングルの振動成分などが付

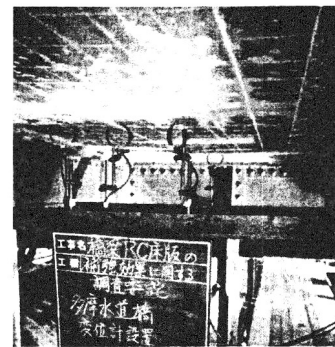


写真 - 1 下面たわみ計設置状況

表-1 FWD の仕様

No.	FWDタイプ	質量 (kg)	計測方式	最大測定たわみ量	荷重 (kN)
1	フェニックス	2,700	ジオフォン	5mm	49, 78, 98
2	コマツKM150	740	リニアゲージ	2mm	29, 49, 67

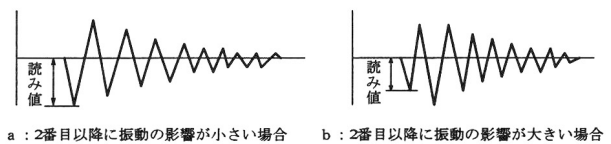


図-3 FWD たわみの振動波形

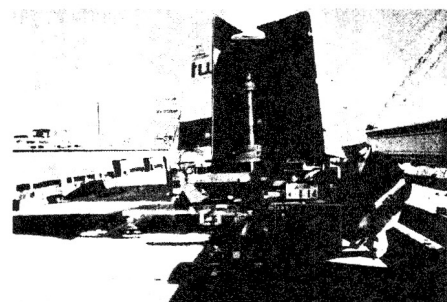


写真 - 2 コマツFWD

加されるなどの影響があるため、これらの影響が少ない第1波目の読み値を床版のたわみ量とした。

(4) 測定機器

FWDの仕様を表-1に示す。東京都で舗装たわみ測定機として実績のあるたわみセンサの測定原理が異なる2機種を使用した。FWDの発生荷重は29kN~98kNである。FWD たわみセンサの取付け方向は、搭載車両の中心軸上に一方向(縦方向)に取付けられており、橋梁上で測定する場合は、橋軸方向のたわみを測定する機構になる。ただし、写真-2のコマツ製は、本調査のため橋軸直角方向も測定できるアタッチメントを製作してXY両方向計測できるように改造した機種を使用した。たわみセンサ取付け位置は、写真-3のフェニックス(デンマーク製)では載荷点からの距離(mm)に対応してD0、D200、D400、D600、D900、D1500、D2000の7点である。コマツは橋軸方向D0、D200、D400、D600、D900、D1500の6点、橋軸直角方向D0、D200、D400、D600の4点である。D0は、載荷点中心位置である。測定1箇所あたりの測定回数は、同一荷重で3回以上測定し異常値を切捨て、3回の平均値とした。



写真-3 フェニックスFWD

り調整されている。L3、L4のピーク荷重発生時間は約13ms、C4は約10msであり許容範囲内にある。また、舗装の場合には荷重の応答波形は、L3、L4の出力例のように実際の走行荷重に近いハーバーサイン波あるいはハーフサイン波³⁾とされており、床版に適用した場合にも同様な応答波形が得られる。荷重が同じレベルでは載荷点のD0の最大たわみ量は、床版の剛性すなわち健全性に依存してL4未補強床版>L3鋼板接着床版の結果が得られている。L3鋼板接着床版の応答では、ピーク後の波形の橋軸直角方向D400(載荷

3. 調査結果

(1) FWD たわみ測定波形

コマツ製FWDのたわみセンサと荷重検知用のロードセルの出力結果の代表例を図-4に示す。データのサンプリング間隔は0.2msである。調査パネルは、図-1に示すP1-P2径間のL3(鋼板接着床版)、L4(未補強床版)、C4(未補強で貫通ひび割れがあり、舗装面に鳥の巣状にひび割れがあってやや陥没の兆候がある床版)の橋軸方向と橋軸直角方向の出力例である。通常の舗装における載荷では、荷重のピークが10~30msの範囲³⁾になるようバッファ(スプリング系や衝撃緩和用ゴム)によ

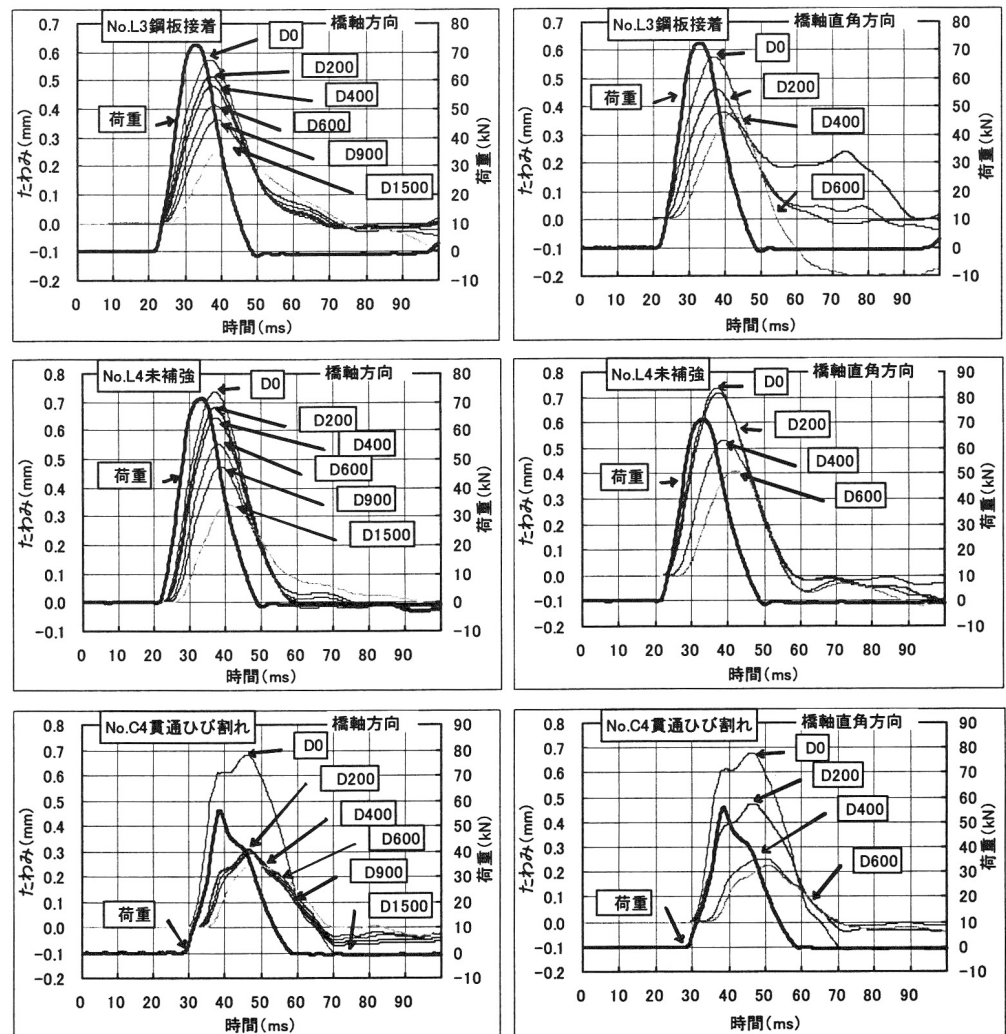


図-4 FWD 荷重・たわみ測定波形

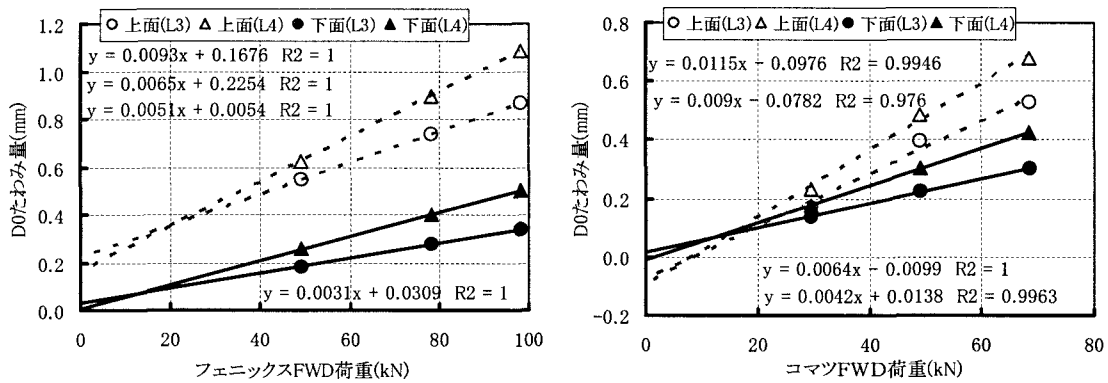


図 - 5 荷重レベルを変えた場合の上下たわみ量の関係

点と支持桁との中間点)が乱れており、鋼板の接着部の剥離や完全合成でない状態を感知しているものと推察される。C4の未補強貫通ひび割れ部の応答波形では、荷重のピーク波形が階段状に変化しており、貫通ひび割れ部の荷重伝達が非線形に感知され、D0とD200にタイムラグが発生し、特に橋軸直角方向で顕著に現れている。また、例示の3箇所の橋軸直角方向の荷重が0に戻った後のたわみセンサの応答は完全に0に戻らず、床版の応答と支持桁の応答成分が含まれているものと考えられる。

(2) 上下たわみの整合性

2機種種の載荷板直下D0たわみ量と下面たわみ計の関係は図-5に示すとおりである。下面たわみ量と荷重の関係では、2機種とも荷重0の回帰式の推定値はほぼ0で正確に計測されている。一方、2機種種の上面たわみ量は下面変位計のたわみ量に比べ大きく測定され一致しない。荷重とD0たわみ量はリニアな関係にあるが、荷重が大きくなるにしたがって上下の比率は大きくなるが判る。また、荷重0の推定値もコマツはマイナス側にあり、フェニックスは大きくプラス側にシフトしている。したがって、FWDたわみ量は、本調査橋梁においては支持桁間のたわみ量を正確に測定できない。しかしながら、下面たわみ量と比例関係にあることから、たとえば、ここに示したように下面たわみ量を同時に測定してキャリブレーションをおこなえば、実用的な範囲でたわみ量を補正することが可能である。また、荷重が同一ならば下面たわみ量と比例関係にあることから、同一橋梁内の床版健全度の評価指標として有効な指標と考えられる。

FWD2機種種の同一荷重である49kN載荷時の下面たわみと上面たわみの関係を図-6に示す。下面たわみ量は、コマツの方がフェニックスに比べ約L3では0.045mm、L4で0.046mm大きい。一方、上面たわみの比較では、フェニックスの方がコマツに比べL3で0.143、L4では0.149mm大きく測定されている。何れも機種によって載荷方法やたわみセンサ形式が異なることやFWD本体の質量が異なるなどの影響が考

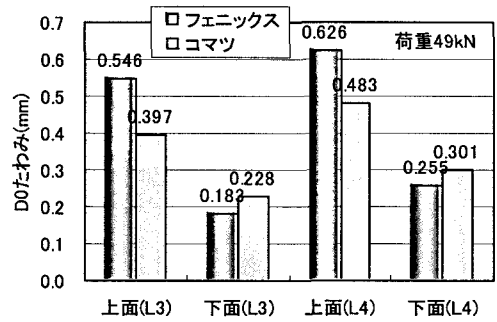


図-6 上下たわみの整合性

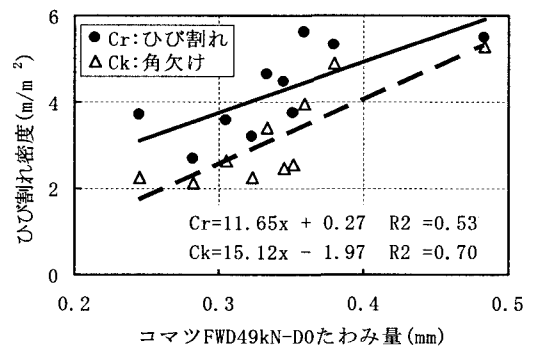


図-7 ひび割れ密度とたわみの関係

えられる。

舗装のFWD試験方法では、アスファルト舗装の場合特に温度の依存性が高いため、標準温度として20℃に換算して評価する方法がとられている。本橋でも路面温度が29℃と5~10℃のデータで比較した範囲では、アスファルトの橋面舗装厚が50mmと床版厚240mmに比べ薄いためか、29℃の方が多少大きいたわみ量であったが、その影響は少ないと考えられる。

(3) たわみとひび割れ密度の関係

FWDのD0たわみ量とひび割れ密度の関係を図-7に示す。図中の「角欠け」はひび割れの中で角欠けしているひび割れを抽出したときのひび割れ密度である。回帰式の相関係数はCr=0.5、Ck=0.7であり、必ずしも高い相関があるとはいえない。

(4) P1 - P2 径間 FWD たわみ量の測定結果

P1-P2 径間のコマツ FWD49kN の全床版パネルの測定結果を図-8 に示す。P1-P2 径間全体の各床版のたわみ量の関係が把握できる。例えば、一番損傷していると思われる床版は、D0が一番大きいL4である。L8, C8, R8などはたわみ量が小さく、他のパネルに比べ損傷の程度は小さいと判断される。図-9には、C4床版のC3よりの床版端部約40cmの位置にある貫通ひび割れ位置のデータとL3, L4のデータを比較したものである。L3(鋼板接着)とL4(未補強)との比較から明らかにC4(貫通ひび割れ部)は、たわみ形状が相違しており、貫通ひび割れの存在も判断可能であると思われる。このようにたわみ曲線の勾配に着目すれば、滑らかでないたわみ曲線の床版は、貫通ひび割れの可能性が高いと判断することができる。

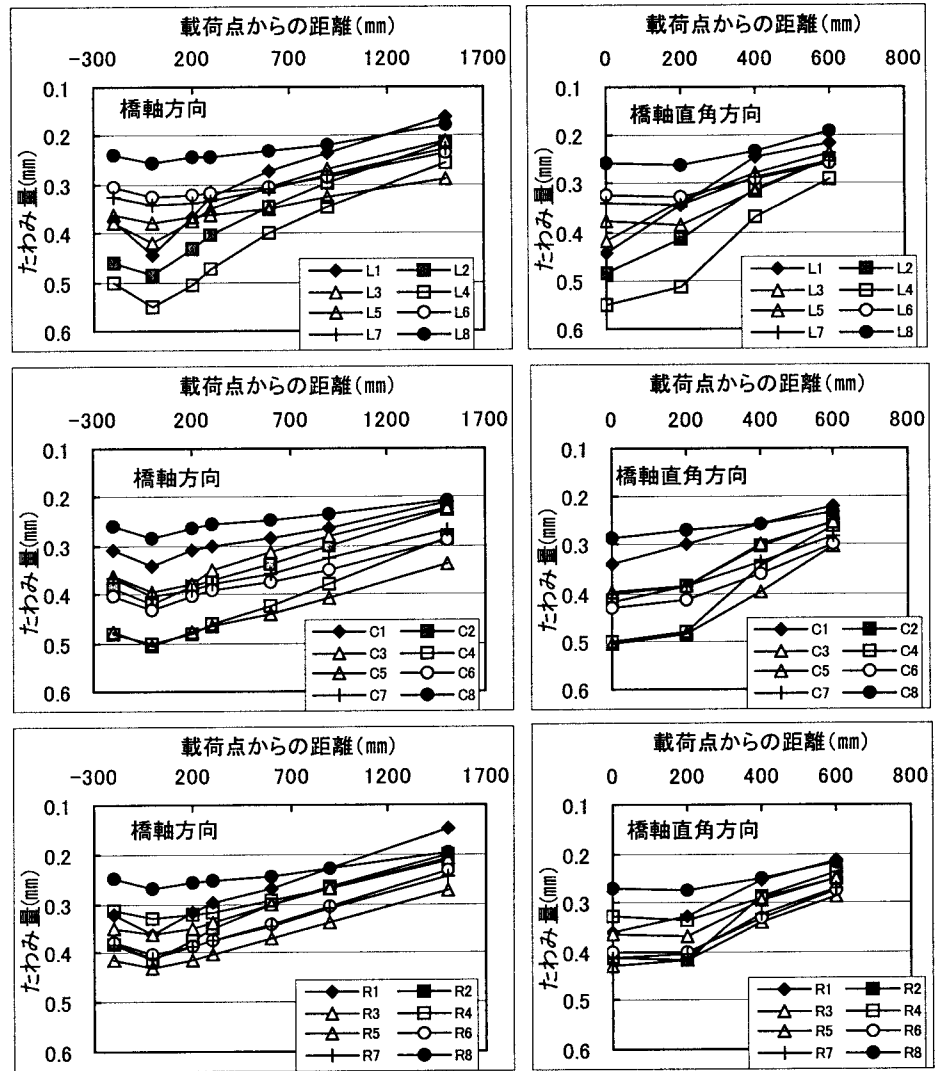


図 - 8 P1-P2 径間床版のコマツFWD49kN たわみ測定結果

(5) 鋼板接着床版の補強効果

P10-A2 径間の D0 たわみ量の結果を図-10 に示す。床版 R2 以外は鋼板接着補強床版である。床版 R1 は他の床版に比べたわみ量が大きく、補強効果が小さいと判断される。L1 と R1 の鋼板を撤去した後もたわみ量を測定して、補強効果=たわみ低減率=((鋼板撤去後たわみ-鋼板撤去前たわみ) / 鋼板撤去後たわみ

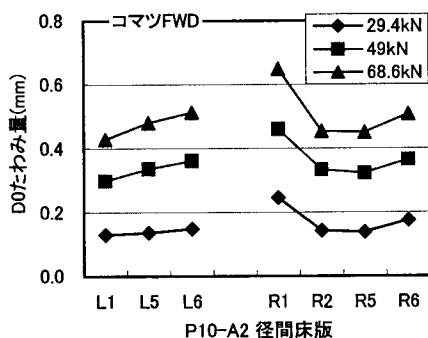


図-10 鋼板接着補強床版のたわみ

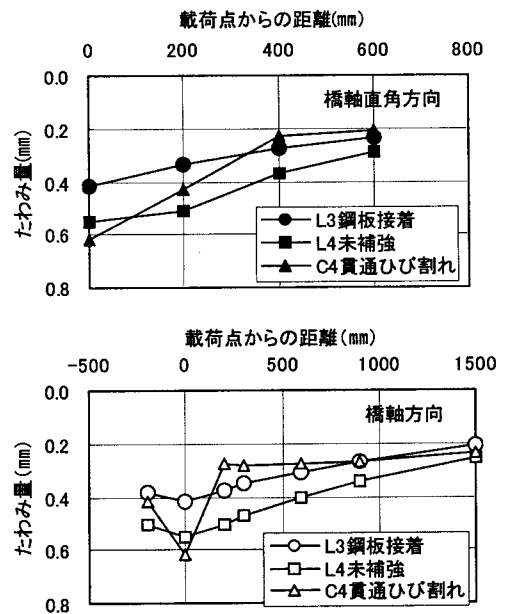


図 - 9 貫通ひび割れのたわみ比較(コマツ 49kN)

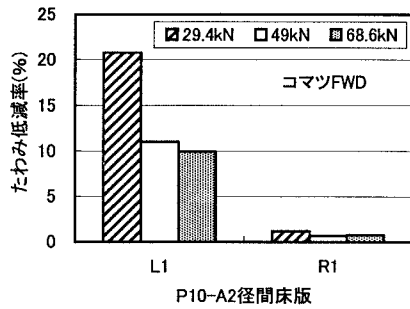


図-11 鋼板接着床版のたわみ低減率

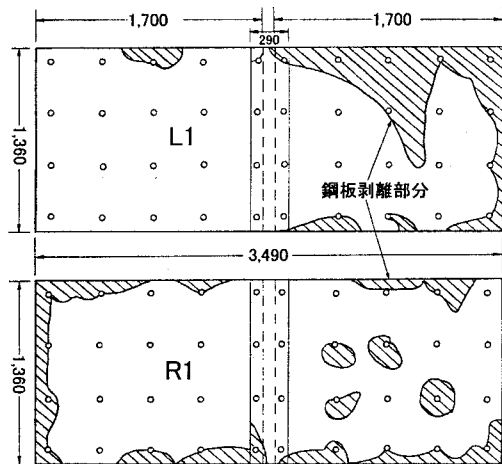
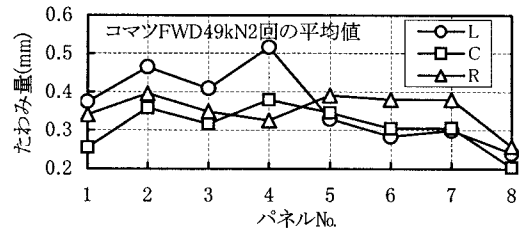


図-10 P10-A2 径間の鋼板撤去後の剥離状況

×100) として評価した結果を図-11 に示す。L1 のたわみ低減率は、荷重の小さい 29.4kN では低減率 20% と効果が大きく、49kN および 68.6kN では低減率が約 10% で効果が認められる。一方、R1 はいずれの荷重でも 1% 以下であり、ほとんど補強効果が認められない。鋼板撤去後に接着材の剥離の確認状況を図-12 に示す。R1 は鋼板周辺部とアンカーボルト 4 箇所円形の浮きを確認される。なお、L1 の右半分中央上側の大きい剥離部は、撤去した際に剥離した可能性があるものの判然としないため剥離部として図示している。

(6) たわみ量に基づく健全度評価の例

現行の床版健全度評価は、床版下面に発生するひび割れ、漏水、鉄筋腐食などの損傷要因や劣化の状況を定性的に評価する方法が一般的に用いられている。東京都では健全度ランクが D (ひび割れ幅 0.1mm 以上のひび割れ密度 10m/m²以上) に劣化すると鋼板接着工法による補強対策が多用されてきた。鋼板接着床版の健全度評価は、経年に係わらず通常一義的にランク C として評価されている。鋼板を接着するとひび割れの確認ができない。また、補強効果が継続しているかどうかの判断は、叩き点検による接着材層の剥離で判断する。したがって、叩き点検に換わる簡便な評価方法が求められている。そこで、ひび割れを主体とする目視観察による現行の健全度ランクとたわみ量に基



技術者の健全度評価								
No.	1	2	3	4	5	6	7	8
L	C	C	D	C	C	C	C	C
C	C	C	C	D	D	C	D	C
R	C	C	C	C	B	C	C	C

FWDたわみ量に基づく評価例								
No.	1	2	3	4	5	6	7	8
L	C	D	D	E	C	B	C	C
C	B	C	C	D	D	C	C	C
R	C	C	C	C	C	C	C	C

注: 多摩水道橋P1-P2径間床版パネル

凡例
 ○ 鋼板接着
 □ 鋼板+縦桁
 △ 未補強

凡例
 A=0.2mm未満
 B=0.2~0.3
 C=0.3~0.4
 D=0.4~0.5
 E=0.5~0.6

図-13 技術者と FWD たわみ量による健全度評価例

づく判定例を図-13 に示す。上段は現行の技術者による健全度評価ランクであり、鋼板接着および縦桁併用床版のランクは一義的にランク C に評価されている。一方、下段は FWD たわみ量を凡例に示すランク分けで評価した場合の例であり、たわみ量に基づく判定は、目視による現行の判定をカバーし、かつ鋼板接着床版のランクを一義的に判定することなく、より合理的な評価結果を得ることができるものと考えられる。

4. おわりに

本報告は、多摩水道橋の RC 床版の健全度評価に FWD たわみ量を活用した事例研究である。FWD のたわみと下面の変位計のたわみは一致しない場合がある。これは、衝撃荷重によって床版の支持桁が変位するためであるが、同時に下面の変位を測定して補正することができる。一定荷重に補正した FWD たわみ量であれば、同一径間の範囲内では実用的な床版の健全度評価指標として活用できるものと考えられる。

FWD によるたわみ測定は、橋梁の振動が無い状態が理想であるが、車線規制を行った中での調査も可能である。今後より多くの橋梁に適用して検証を行い、より合理的な評価手法を検討する。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 阿部忠行, 関口幹夫, 小原利美: 土木構造物の維持更新と機能向上技術開発, 平 8. 都土木技研年報, PP.115-126, 1996.
- 3) 土木学会: FWD および小型 FWD 運用手引き, 舗装工学ライブラリー 2, 2002.12.