

RC床版の衝撃加振たわみによる健全度評価手法に関する基礎的検討

東京都土木技術研究所 正会員 関口 幹夫

1. はじめに

橋梁RC床版の健全度や耐荷力の定量的調査手法には、ひび割れ密度や載荷試験によるたわみ・応力頻度測定などがある。しかし、全床版パネルを調査するためには相当な経費と時間が不可欠であり、簡便な評価手法の開発が望まれている。筆者らは舗装用動的たわみ測定器（FWD：フォーリングウエイトデフレクトメータ）を使用して、床版パネル中央のたわみを測定する評価手法の検討をおこなっており、FWDによる動的たわみ量により健全度の評価が可能であることを示した¹⁾。ここでは、舗装用FWDより小型で簡便な橋梁床版専用の写真-1に示す衝撃加振装置を開発した。輪荷重走行疲労試験機を使用してRC床版にダメージ与えて、ひび割れ密度とたわみ量を測定し、基礎的な検討をおこなった。

2. 衝撃加振装置の概要

加振装置のウェイトは鋼製網袋に鋼球を9.8N詰めたもので、落下してもバウンドしない。載荷板は直径30cm、3点で床版に荷重を伝達する。計測は、載荷板を床版支間中央にセットして、たわみセンサーを載荷板直下と左右の支持桁直上点にセットし、動的たわみ量を計測するシステムである。なお、たわみセンサーには、東京測振（株）製サーボ型速度計（VSE-15-AD）を使用した。

3. 基本理論

一般に衝撃力による棒の伸びや梁の曲げ（たわみ）は、ウェイトが落下する際の最初の「位置エネルギー」と、ウェイトが落下し最下端まで棒や梁が変形した際の「ひずみエネルギー」が等しいというエネルギー保存則によって得られる。図-1に示すスパン ℓ ・曲げ剛性 EI の単純梁の中央に重量 W のウェイトが落下する場合の動的たわみ d_d とウェイトを静かに置いた時の静的たわみ d_{st} および梁に蓄えられたひずみエネルギー U_e の関係は（1）、（2）式に示すとおりである。

$$d_{st} = \frac{W\ell^3}{48EI} \cdots (1)$$

$$U_e = \int_0^{\ell} \frac{M^2}{2EI} dx = \frac{2}{2EI} \int_0^{\ell} \left(\frac{W}{2} x \right)^2 dx = d_d^2 \frac{24EI}{\ell^3} \cdots (2)$$

このひずみエネルギー U_e とウェイトの最初の位置エネルギー U_h が等しい。この位置エネルギー U_h は（3）式となり、従って $U_e = U_h$ であることから（4）式となる。

$$U_h = W(h + d_d) \cdots (3)$$

$$d_d^2 \frac{24EI}{\ell^3} = W(h + d_d) \cdots (4)$$

この（4）式を d_d について整理すると、（5）式となる。

$$d_d = \frac{W\ell^3}{48EI} + \sqrt{\left(\frac{W\ell^3}{48EI} \right)^2 + 2h \left(\frac{W\ell^3}{48EI} \right)} \cdots (5)$$

この（5）式に（1）式を代入すると、

$$d_d = d_{st} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{d_{st}}} \right) \cdots (6)$$

となる。この（6）式は梁だけではなく、版においても静的たわみの基本式（1）式が異なるだけで同じ形式となる。

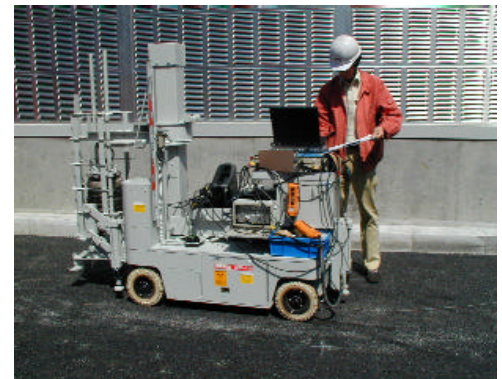


写真-1 衝撃加振装置

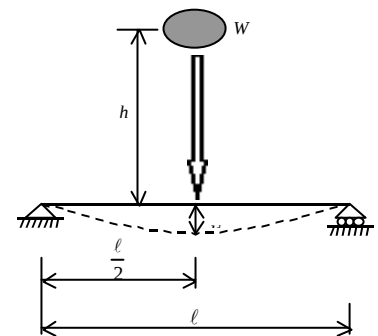


図-1 梁の衝撃曲げ実験

表-1 床版の静的・動的試験結果

157KN(16tf) 静的載荷時のたわみ	約 6.7mm
9.8N(100kgf) ウェイト落下時のたわみ	約 0.69mm
供試体寸法 3m × 4.5m, 床版厚 18cm, 床版支間 2.5m, ウェイト落下高 30cm, コンクリート強度 20N/mm ²	

キーワード：RC床版，輪荷重走行試験，衝撃荷重，たわみ，ひび割れ密度，健全度評価法

連絡先：〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15 TEL 03(5683)1520 FAX 03(5683)1515

基本理論は一般的な材料力学の理論であるが、実際のデータを入力すると一致しない。例えば、表-1に示す道示47年仕様の実物供試体を用いた単純支持版に157kN(16tf)の静的載荷と9.8N(100kgf)のウェイト落下実験を実施した。床版中央点のたわみは表-1のとおりである。静的載荷の9.8Nのたわみは1/157で0.0427mmとなり、この値を(6)式に入力すると、

$$d_d = 0.0427 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 300}{0.0427}} \right) = 5.10 \text{ mm}$$

となり、実験値0.69mmの約7倍で一致しない。

4. 動的(衝撃)問題への適用

基本理論における床版は、 EI という剛性を持ち質量は0(質量を無視している)という理想的な部材を考えている。静的問題では質量を無視できるが、動的問題においては質量を無視できない。従って、質量を考慮する運動エネルギー問題として取り扱う。

ウェイトが落下し床版に衝突した瞬間は、たわみがまだ発生していない。その後、床版は鉛直下向きに速度 V という速でたわみ始める。つまり、ウェイトが持っていた位置エネルギー U_h は、床版と衝突直後に床版の有効質量 m に速度 V という運動を発生させる運動エネルギー U_d とたわみが発生して床版内に発生するひずみエネルギー U_e に変換される。これを式に表すと、

$$U_e + U_d = U_h \quad \cdots (7)$$

となり、(7)式に(2)、(3)式および $U_d = \frac{1}{2} m V^2$ を代入し、再び d_d について整理すると

$$d_d = d_{st} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{d_{st}} - \frac{A}{d_{st}}} \right) \quad \cdots (8) \quad \text{ただし、} A = \frac{m}{W} V^2$$

(注) この時の m は床版が振動する時の床版の有効質量と定義する

となる。この(8)式が床版の質量を考慮した理論式である。さらに静的たわみ d_{st} について整理すれば、

$$d_{st} = \frac{d_d^2}{2d_d + 2h - A} \quad \cdots (9)$$

となる。

(8)式における A を運動エネルギー係数と呼び、 A は床版が衝撃によって振動する際の実効質量 m とウェイト重量 W および床版の速度 V によって決まる。この時 W は既知、 V は測定可能である。そこで m の決定方法が明らかにされれば良い。現在、この m の考え方を中心に A の決定方法について検討中である。

5. 実験による検討

表-1の仕様の床版を用いて写真-2に示す輪荷重による走行疲労実験を行なった。走行荷重は157kN一定とし、各走行回数毎にひび割れ密度と静的載荷およびウェイト落下実験を行なった結果を図-2に示す。図-2のたわみは二つの測定結果を比較しやすいようにウェイト落下のたわみ量を8.25倍している。この結果より非常によく似た傾向を示す。最後の破壊直前の急激な立ち上がりも同じように現われており、ひび割れ密度による健全度評価とも高い相関があることを示している。

今後、床版の有効質量 m の考え方を検討し、運動エネルギー係数 A の決定方法が確立されれば簡易的な衝撃加振法による「たわみ」から静的載荷による「たわみ」を推定することも可能と思われる。さらに、簡易で合理的な健全度評価手法について検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 関口幹夫：RC床版補強工法の評価について、第22回日本道路会議論文集，pp. 1034-1035, 1997。



写真-2 輪荷重走行疲労実験

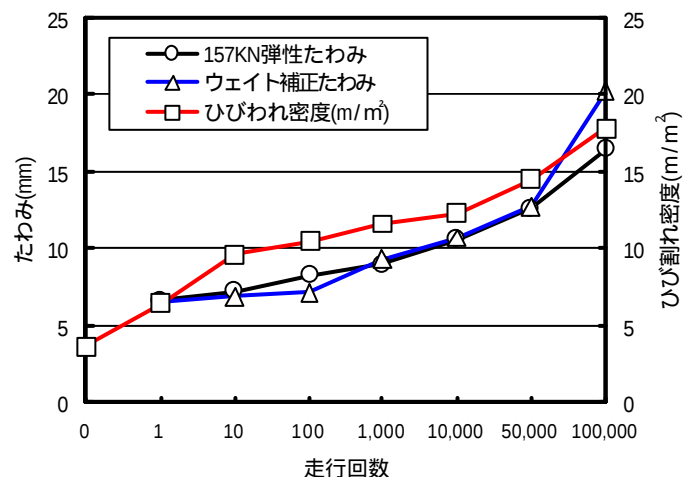


図-2 たわみとひび割れ密度の関係