

路面性状が走行荷重による道路橋の動的応答に与える影響

EFFECTS OF ROADWAY ROUGHNESS TO DYNAMIC RESPONSE OF HIGHWAY BRIDGES UNDER MOVING VEHICLES

本田 秀行*・小堀 為雄**

By Hideyuki HONDA and Tameo KOBORI

The dynamic behavior of highway bridges under moving vehicles is analyzed, and then the effects of roadway roughness to dynamic response of the bridges are investigated quantitatively. In this study the dynamic behavior of bridges under moving vehicles is termed the "dynamic factor", and the spectral characteristics of roadway roughness on bridges is classified into the four categories according to the method of evaluation of roadway condition indicating by authors's investigation. Numerical calculations are presented to investigate the effects of roadway characteristics to the dynamic response.

Keywords: highway bridge, impact factor, roadway roughness

1. ま え が き

走行自動車によって生じる道路橋の動的応答には、自動車や橋梁自体の特性のほかに、路面性状も大きく影響を及ぼす^{1),2)}。しかしながら、多くの研究者によって道路橋の動的影響評価が行われ貴重な資料が提示されているが、路面性状に関するデータ不足のため、橋梁の動的応答に及ぼす路面性状の影響に関する検討はほとんど行われていないのが現状である。特に、設計示方書に採用されている衝撃係数を動学的に検討する場合、自動車が走行する路面性状も橋梁の動的影響評価に対して重要な因子となるが、従来の多くの研究では路面性状をワンサンプルの路面状態に固定化して橋梁の動的応答解析が行われている。

そこで、本研究では、道路橋の動的特性に及ぼす路面性状の影響に対する基礎的な一資料を得る目的から、著者らが実施してきた路面性状に関する実態調査^{3),4)}で得た路面データをもとに、単純鋼桁橋の動的応答解析を行った。そして、路面凹凸の周波数や4つのカテゴリー

に基づく各路面状態が橋梁の動的応答に及ぼす影響などに対する検討を行い、若干の知見を得たので報告する。

2. 動的応答解析

図-1に自動車-橋梁の振動系モデルを示す。この場合の橋梁のたわみ $y(t, x)$ 、曲げモーメント $M(t, x)$ は次式のように表わされる。

$$y(t, x) = \sum_{n=1}^{\infty} q_n(t) \varphi_n(x) \dots \dots \dots (1)$$

$$M(t, x) = \sum_{n=1}^{\infty} q_n(t) \varphi_n'(x) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $\varphi_n(x) = \sin(n\pi x/L)$ である。数値積分としては Newmark の β 法 ($\beta=1/2$) を用いて、たわみと曲げモーメント応答を求めた。なお、計算の着目点 x は支間中央点の $x=L/2$ とした。

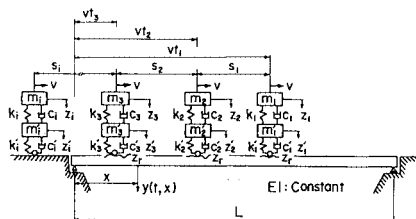


図-1 自動車-橋梁の振動系モデル

* 正会員 工博 金沢工業大学助教授 土木工学科
(〒921 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1)

** 正会員 工博 金沢大学教授 土木建設工学科
(〒920 金沢市小立野2-40-20)

走行自動車による橋梁の動的影響を動的係数とよび、曲げモーメントに着目した動的係数 i_m を静的最大値に対する動振幅の最大値の比に考え、次式で定義する。

$$i_m = (M_{d,max} - M_{s,max}) / M_{s,max} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $M_{d,max}$ 、 $M_{s,max}$ は動的および静的曲げモーメントの最大値である。

表一に、数値計算で用いた橋梁の諸元を示す。この諸元は、建設省土木研究所の合成桁橋標準設計書より概算された値である。橋梁の固有振動数は4次振動まで、また橋梁の減衰定数は0.02を代表値として用い、振動次数によって値が変わらないものとした。なお、走行自動車の諸元を表二に示す。

本研究のように、橋梁の動的影響として定義した動的係数と設計示方書に採用されている衝撃係数との両者の特性に対する路面性状の影響を検討する場合、荷重は設計活荷重と関連して定められる方が好ましく、設計活荷重と等価な自動車荷重列について解析するのが実際である。このことから、現行示方書の設計活荷重(L-20)に相当する自動車荷重列を図二に示す。自動車の載荷台数は、設計活荷重と等価になるように、橋梁の支間長、車間距離、自動車の占有長さ(7m)を考慮して決めた。なお、自動車の載荷台数が奇数値の場合は20tの荷重車を中央に、偶数値の場合は荷重列の中央前後で橋梁の応答が最大になるように配置した。

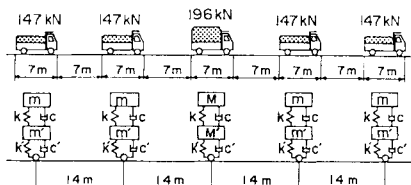
従来の研究⁵⁾において、路面性状が橋梁の動的応答に

表一 橋梁の諸元

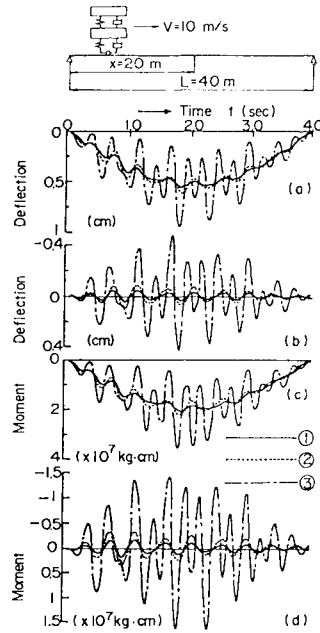
L (m)	20	30	40	50	60	70
W (kN)	948.6	1520.8	2093.3	2665.6	3237.9	3810.2
EI (MN・m ²)	12.172	24.343	47.844	82.712	128.929	157.094

表二 走行自動車の諸元

Speed (V) : 10 m/s	
Vehicle weight : 196 kN (sprung; 176.4 kN, unsprung; 19.6 kN)	
Spring stiffness	$k_z = 6830.6 \text{ kN/m}$ $k_z' = 13328.0 \text{ kN/m}$
Damping factor	$\sigma_z = 24.5 \text{ kN/(m}\cdot\text{s}^{-1})$ $\sigma_z' = 29.4 \text{ kN/(m}\cdot\text{s}^{-1})$



図二 自動車荷重列の数値計算モデル



図三 動的応答例

及ぼす影響は、理論的には路面凹凸のパワースペクトル密度の特性値である平滑度パラメーター a 値の平方根に比例するといわれているが、路面凹凸の波長に対する検討はあまりなされていない。

そこで、本論に先立ち、路面性状が橋梁の動的応答に及ぼす影響を検討したのが図三である。20t(196kN)の自動車が速度10m/sで支間長40mの単純桁橋を単独走行した場合である。図中、(a)と(c)はたわみと曲げモーメント応答を、(b)と(d)はそれらの動的成分である。また、曲線①は路面凹凸がない場合、曲線②は路面凹凸を振幅±1cmで凹凸波長を1mのsin波にモデル化した場合、曲線③は曲線②と同様に、凹凸振幅を±1cmで凹凸波長を2.5mのsin波にモデル化した場合である。なお、この2.5mは、自動車あるいは橋梁の固有振動数に近い値とした。この図から、路面性状が橋梁のたわみや曲げモーメント応答に及ぼす影響は、路面凹凸の振幅もさることながら、路面凹凸の波長の因子もきわめて大きいことが認められる。このことは、走行自動車による橋梁の共振現象を解明するには、従来からいわれている自動車と橋梁の固有振動数、共振車頭間隔に加え、路面凹凸の波長も重要な因子となることを示している。したがって、実際の路面性状には多くの周波数成分が分布しており⁴⁾、計算に用いたsin波モデルと異なるものであるが、振幅が小さくてきわめて滑らかな路面であっても、その摩耗状態によっては自動車、あるいは橋梁の固有振動数に近い周波数が卓越しているよ

うな路面では、走行自動車による橋梁の動的応答量も非常に大きくなるものと思われる。

3. 動的影響に及ぼす路面性状評価

(1) 路面状態

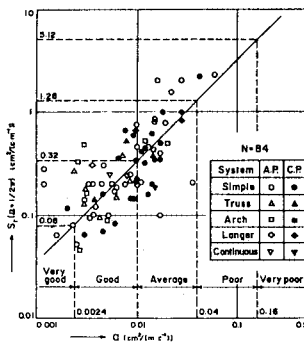
図一4は、著者らの道路橋の路面性状に関する実態調査⁴⁾に基づき、ISO (国際標準化機構) の評価基準に対応を考えた道路橋の路面状態の各カテゴリーを示している。この図では、横軸である路面凹凸パワースペクトル密度の平滑度パラメーター a 値でもって路面状態を評価している。また、図一4に述べた路面状態の各カテゴリーに対応するスペクトルを示したのが図一5である。なおこのスペクトルでは、Cut-off wavenumber を 0.05 c/m として、それ以下では平坦なスペクトルとした。本研究では、この各カテゴリーの境界を示す4つのスペクトルを用いて、モンテカルロ法からそれぞれ10個ずつの合計80個の路面凹凸サンプル波形を求めた。そのサンプル波形を路面状態が Very good の方から Roadway case 1, 2, 3, 4 とした。

(2) 各路面状態に対する動的係数

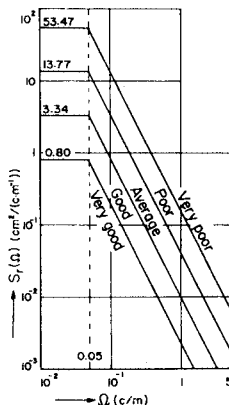
一例として、図一2で述べた等価自動車荷重列の走行

による単純鋼桁橋の曲げモーメントに着目した動的係数と支間長の関係を、Roadway case 2, 3 について示したのが図一6, 7である。これら図中の○は10個の路面凹凸サンプル波形に対して計算された動的係数の平均値で、 σ はその標準偏差である。また、わが国の衝撃係数の現行規定も図中に記入した。動的係数の平均値に標準偏差をプラス・マイナスした範囲は、各 Roadway case とも支間長の増大につれて相対的に減少し、その範囲も狭くなる傾向がみられることから、自動車の載荷台数が1台か2台のような短スパン橋梁では特に路面性状の影響が大きいことが理解される。また、各 Roadway case が1から4に変わるにつれ、すなわち路面状態が極良から、良好、普通、悪い、極悪になるに従って、動的係数の値も大きくなり、上述した範囲も広がることがわかった。

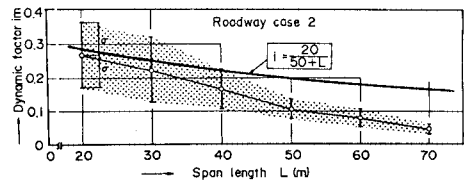
そこで、橋梁の動的影響に及ぼす路面性状の定量的な把握として、動的係数の標準偏差を平均値で割った変動係数を検討したのが図一8である。一般に、変動係数は各路面状態によって変動しており、約0.2~0.4の範囲内に分布している。その変動幅も特に短スパン橋梁で大きく、支間長の増大によって小さくなる傾向が認められ



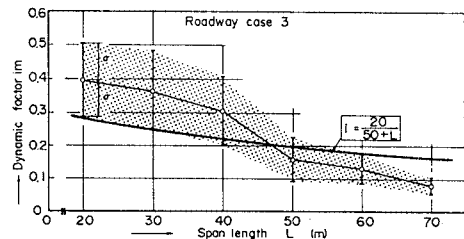
図一4 a 値による道路橋路面状態のカテゴリー⁴⁾



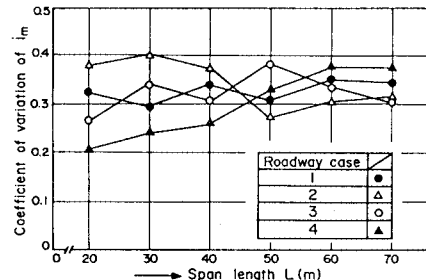
図一5 路面状態の各カテゴリーに対応するスペクトル



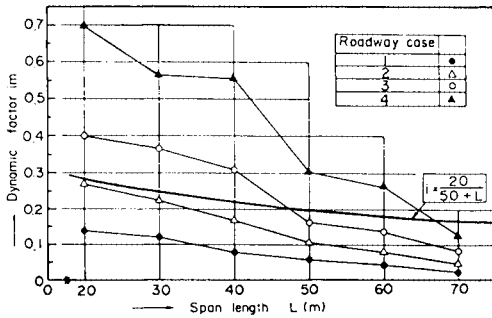
図一6 Roadway case 2 に対する動的係数



図一7 Roadway case 3 に対する動的係数



図一8 各路面状態の変動係数



図—9 各 Roadway case に対する動的係数

る。いま、各路面状態と支間長をパラメーターとして計算された動的係数の変動係数の総平均値を求めてみた場合、約 0.32 (32%) の値を得た。したがって、路面性状が道路橋の動的係数に及ぼす影響は、平均値に対する検討として、0.32 の値が変動係数の 1 つの目安になるものと思われる。

文献 1) と 2) で指摘したように、本研究においても以下に示す動的係数としては、各路面状態それぞれに対応して作成された路面凹凸の 10 個ずつのサンプル波形に対する計算値の平均値を用いることにした。

図—9 は、動的係数の平均値と支間長の関係を Roadway case をパラメーターとして示している。図中の太線は衝撃係数の現行規定である。動的係数の平均値からみると、各路面状態とも動的係数は支間長の増大とともに減衰しており、また路面状態も悪くなるにつれて動的係数の値も相対的に増加する傾向が認められる。特に、路面状態が極良と良好、および悪いと極悪の境界スペクトルを示す Roadway case 1 と 4 における動的係数の差異は顕著である。

いま、実際に多く架設されている単純鋼桁橋の支間長の範囲を 20~40 m ほどと考えると、この範囲において図—9 に示した Roadway case 2 の場合の動的係数は衝撃係数とほぼ等しい数値を示している。この Roadway case 2 の路面状態は図—5 に示した良好と普通の境界スペクトルを、またそれに対応する平滑度パラメーター a 値は、図—4 から $a=0.01 \text{ cm}^2/(\text{m}\cdot\text{c}^{-1})$ を示している。なお、この a 値は、著者らによる道路橋の路面性状に

関する実態調査⁴⁾で得た 56 道路橋の 84 測定ラインでの平均値 $a=0.0107 \text{ cm}^2/(\text{m}\cdot\text{c}^{-1})$ に近い値である。

日常の交通量の場合、設計活荷重 (L-20 荷重) の生起確率は、長スパン橋梁においては非常に小さいが、載荷台数が 1 台か 2 台のような短スパン橋梁においては大きい。したがって、そのような短スパン橋梁上を L-20 荷重に近い自動車荷重が走行したとき、前述した Roadway case 2 のスペクトル値を越える路面状態では、設計時に用いられた衝撃係数の値を超過することになる。また、そのような短スパン橋梁においては、橋梁の動的影響からみた路面状態の評価基準を設けて路面を管理していくことも保全技術に対する 1 つの考え方と思われる。

4. あとがき

走行自動車による道路橋の動的応答に及ぼす路面性状の影響評価を行った。その結果、路面性状が橋梁のたわみや曲げモーメント応答に及ぼす影響は、路面凹凸の振幅以外にも路面凹凸の波長の因子もきわめて大きいこと、路面性状が橋梁の動的係数に及ぼす影響は短スパン橋梁において顕著であること、路面状態に対する動的係数の変動係数は、平均的な値から考慮すると、約 32% の値となることが明らかになった。

参考文献

- 1) 本田・小堀・山田：多径間連続桁橋の動的応答と衝撃係数に関する考察，土木学会論文報告集，第 331 号，1983 年 3 月。
- 2) 本田・小堀・山田：道路鋼桁橋の走行荷重による動的影響評価，土木学会論文集，第 350 号 / I-2，1984 年 10 月。
- 3) 本田・梶川・小堀：道路橋の伸縮装置部の凹凸性状，土木学会論文報告集，第 324 号，1982 年 8 月。
- 4) Honda, H., Kajikawa, Y. and Kobori, T.: Spectra of Road Surface Roughness on Bridges, Proc. of ASCE, Vol. 108, No. ST 9, September, 1982.
- 5) 彦坂・吉村・内谷：連行自動車荷重による単純桁橋の非定常ランダム応答と衝撃係数，土木学会論文報告集，第 290 号，1979 年 10 月。

(1985.12.2・受付)