

日本舗装技術研究所	正員	千葉	博敏
同	正員	井上	武美
同	正員	○内田	精一

1. ま え が き

コンクリート舗装を設計・施工から維持管理まで含めたシステムとしてとらえると、適切な設計・施工はもちろんのこと、適切な時期に維持修繕を行なっていくことが重要である。そのためには、何らかの手法を用いてコンクリート舗装の破壊予測を行なうことが必要となる。本報告では、現行のコンクリート舗装の設計法¹⁾の手順に従うものの、コンクリートの曲げ強度、車両の輪荷重、及び車両走行位置を確率変数として評価し、コンクリート舗装が疲労破壊に至るまでの過程をモンテカルロ法により計算シミュレートし、これを確率で表現することを試みた。

2. シミュレーションの方法

以下の各項以外、設計式等を含めてセメントコンクリート舗装要綱の版厚計算の手順に従い行なった。

(1) コンクリートの曲げ強度： コンクリートの曲げ強度 σ_{bk} は正規分布するとみなした。分布確率を刻み幅 ΔS % として σ_{bk} を順次設定し、その σ_{bk} に対してシミュレーションを行ない破壊回数を計算し、後でその分布を積分することによりコンクリート舗装の破壊確率を求める。

(2) 輪荷重： 計算時間を短縮するために、設定した σ_{bk} に対して影響のない荷重 (P_{cri} 以下) は切り捨てを行ない、図-1のような輪荷重分布のすその部分のみをシフト量を持つ指数分布とみなし、その分布に従う擬似乱数を発生させて輪荷重を決める。乱数発生のため非現実的な過大荷重となる可能性もあるので、建設省の調査データ²⁾ から最大荷重 (P_{max}) を13tfに設定し、これより大きい荷重となった時は再度乱数を発生させ輪荷重を決め直すようにする。

(3) 走行位置： 輪荷重の場合と同様に、 σ_{bk} に対して影響のない走行位置 (L_{cri} 以上) は切り捨てを行ない、図-2のような走行位置分布のすその部分のみをシフト量を持つ指数分布とみなし、その分布に従う擬似乱数を発生させて走行位置を決める。乱数発生のため走行位置が負となる可能性もあるので、最小値 (L_{min}) を15cmに設定し、これより小さい値の走行位置となった時は再度乱数を発生させ走行位置を決め直すようにする。以上より、計算上の1回の走行は実際の走行回数では、 $1/(\text{輪荷重分布のすその部分の相対頻度} \times \text{走行位置分布のすその部分の相対頻度})$ に相当する。

(4) コンクリートの疲労曲線： 疲労の指標には弾性係数比 E_r (初期の弾性係数に対する疲労劣化の度合) をとった。疲労曲線は、室内曲げ疲労試験データとセメント協会の $(\sigma/\sigma_{bk}) - N$ 式³⁾ とをモデル化して作成した (図-3)。走行履歴に伴い E_r が疲労曲線上を推移して徐々に低下し、やがて疲労破壊線と交わった時点で破壊すると考える。すなわち、計算上ではまずある荷重の1回の走行について、走行前の E_r と作用する応力レベル $S_r (= \sigma/\sigma_{bk})$ とから、疲労曲線上で等価疲労走行回数 N を求める。次にこの走行回数を $N+1$ と

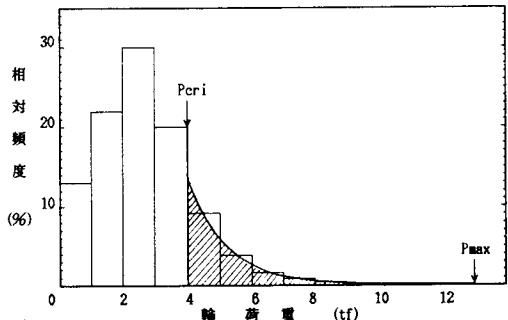


図-1 輪荷重分布

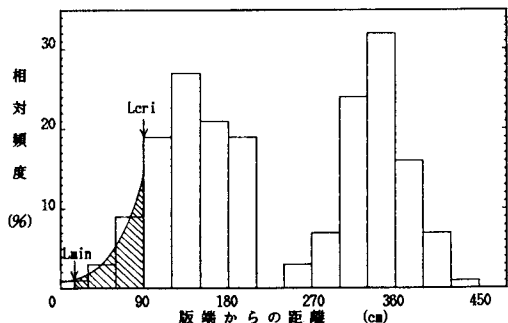


図-2 走行位置分布

し、この荷重が1回走行したために低下した E_r を求める。以下順次作用する荷重走行(応力レベル)に対しこの手順を繰返し、 E_r を疲労曲線上で推移低下させていき、ある応力レベルで曲線が疲労破壊線と交差した時を破壊とする。

3. 計算結果と考察

シミュレーションの対象は、実測データのある高速道路のトンネル(A; B)内のコンクリート舗装($h=25\text{cm}$, $K_{75}=7\text{ kgf/cm}^2$, 収縮目地間隔 $=10\text{m}$)とした。温度応力はトンネル内でコンクリート版の温度差にほとんど変動のないこと⁴⁾から $\sigma_t=3\text{ kgf/cm}^2$ と確定値をとり、また輪荷重分布及び走行位置分布には高速道路における値⁵⁾を使用し、コンクリートの曲げ強度の分布を $\overline{\sigma_{bk}}=45$, 標準偏差 $=4.5\text{ kgf/cm}^2$ として計算した。結果を図-4に示す。また図には、破壊確率を舗装延長方向におけるコンクリート版毎の材料のばらつきの結果と解釈し、実測データを走行回数に対するコンクリート版の破壊確率(対象区間において1本以上のクラックがある版数の割合)として、プロットした。

計算結果は、ある走行履歴まではほとんど破壊しないがそれ以降急速に破壊が進行するという傾向で、定性的には妥当なものであるとみなせる。また、実測データと対応させた場合、実測データの方が多少破壊確率が大きい傾向にある(10%前後)がほぼ妥当とみなせる。この相違は、正規分布としたコンクリートの曲げ強度が上位の値となると、シミュレーション計算上は作用応力に対して疲労破壊しない結果となるためである。一方実際の舗装では、地下水の影響などによりコンクリート版下に空洞(荷重荷重により掘んでも版と路盤との間に存在する僅かな空隙)が生じ、その影響で作用応力が大きくなり破壊が起こっている状況もあるためと思われる(版寸法は異なるが5tf単輪の版縁部載荷で直下に1.2m角の空洞のある場合、縁部応力は36%増とのFEM計算結果⁶⁾)。従って、この空洞発生の影響を何らかの形で評価し計算の中へ取り入れることにより、かなり正確なコンクリート舗装の破壊予測が可能と思われる。

4. ま と め

コンクリート版の曲げ強度を確率変数として評価し計算シミュレーションを行うことにより、コンクリート舗装の破壊予測を確率で表現できるという目途がたち、より正確に予測するためには、路盤の評価等も含めてシミュレーションする必要があることがわかった。また、本方法ではコンクリート版の破壊の定義を1本目のクラック発生時としているが、早期に破壊した版はその後の走行履歴によりクラックが2本、3本と進行するので、その評価をできるようにすればより実測的な対応が可能となろう。さらに、実際に認められる目地部段差や地域によって問題となる摩耗や掘れの推移等を含めた供用性(走行性)評価へと進めることを、今後検討すべき課題としたい。

(参 考 文 献)

- 1)「セメントコンクリート舗装要綱」, (財)日本道路協会。
- 2) 飯島尚, 今井博, 「車両重量調査結果の解析」, 道路1982-6, pp.42-48。
- 3)「第39回セメント技術大会講演要旨」, (財)セメント協会, 昭和60年5月。
- 4)「トンネル内舗装に関する研究報告書」, (財)高速道路調査会, 昭和59年2月。
- 5)「セメントコンクリート舗装に関する研究報告書」, (財)高速道路調査会, 昭和54年12月。
- 6) 井上武美, 小林利雄, 「舗装用路盤材料の耐水性の検討」, 第21回土質工学研究発表会(投稿中)。

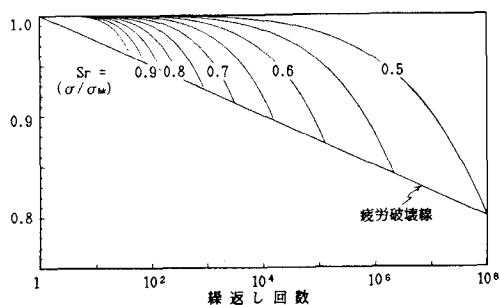


図-3 疲労曲線

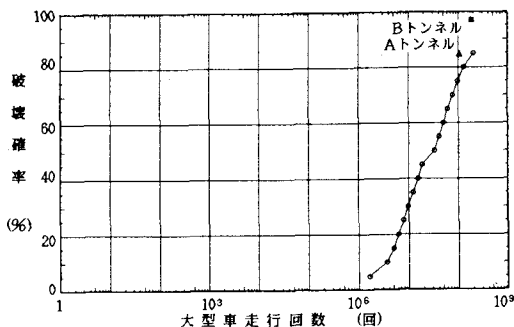


図-4 コンクリート舗装の破壊確率