

(株) トクヤマ 正 員 ○河合 優
神戸大学工学部 正 員 森川英典

1. はじめに

既存コンクリート橋に対して実施した材料試験結果¹⁾から、コンクリート軸圧縮強度（コンクリート強度）が経年によって低下（劣化）していること、コンクリート強度のばらつき（変動係数）が経年によって増幅していることがわかった。また、強度の劣化やばらつきはせん断耐力に大きな影響を及ぼすことがわかった²⁾。そこで、コンクリート部材におけるコンクリート強度の劣化およびコンクリート強度のばらつきの変化を評価するためにコンクリート部材におけるコンクリートの強度の軸方向分布を考え、材料試験結果をもとに強度分布を推定する手法を示し、強度の経年劣化に伴う強度分布の経年変化をモデル化する。

2. 強度分布推定手法

コンクリート部材に対する材料試験結果から強度分布を推定する手法として、有限フーリエ変換を用いる。有限フーリエ変換を行うためには材料試験方法として以下の条件を満たす必要がある。

- ◆ 材料試験結果は部材軸方向に等間隔に得る必要がある。
- ◆ 部材端点における材料試験結果を得る必要がある。

この条件を満たすために行う材料試験方法として、コアを採取することによる圧縮試験と超音波試験などの非破壊試験を併用することが考えられる。得られた材料試験データに対して、有限フーリエ変換を実施することにより強度分布を推定を行うが、フーリエ変換の特性上、得られたデータのみで変換を行うと部材端点付近における分布形状ともう一方の端点付近の分布形状が相互に影響を及ぼし合うことが考えられる。そこで、部材軸方向延長に仮想部材を設定し、仮想部材上の仮想データとして得られた材料試験データの平均値を与えることにする。このとき仮想部材上の仮想データを加えて2の累乗個のデータとなるようにする。したがって、強度分布は以下のように表されることになる。

$$\tilde{F}(X) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{k=2}^{N-1} \alpha_k \cos(2\pi f_k X + \phi_k) + \frac{\alpha_N}{2} \cos(2\pi f_{\frac{N}{2}} X) \quad (1)$$

ただし、 $\tilde{F}$: コンクリート強度、 N : 全データ数、 X : 部材軸方向位置、 α_k : 振幅、 f_k : 振動数、 ϕ_k : 位相

このとき、強度分布は式(1)の第1項の平均強度と第2項および第3項のばらつきを表す波によって表現されることになる。よって、強度分布の経年変化を予測するためには平均強度および強度のばらつきの経年変化を予測する必要があることがわかる。

3. 局部劣化進行予測手法

コンクリート部材の強度分布の経年変化を予測する局部劣化進行予測手法の流れを図1に示す。まず、劣化進行速度の経年変化を劣化特性を考慮してモデル化し劣化進行速度を積分して強度経年劣化モデルを得る。得られた強度劣化モデルに対して、既存コンクリート橋に対する材料試験結果を用いて最小二乗法により平均強度経年劣化モデルを作成する。次に、平均強度と強度変動係数の統計的關係から強度変動係数経年変化モデルを作成する。

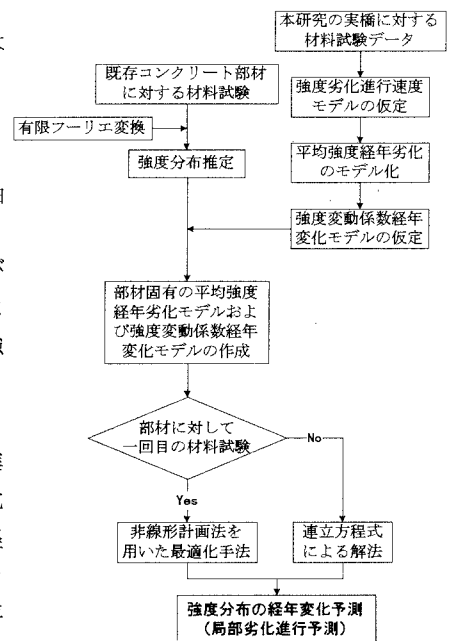


図1 局部劣化進行予測手法の流れ

そして劣化進行を予測する部材に対して材料試験を実施した結果から、得られたモデルを初期値の更新によってその部材固有のモデルに更新する．ここで、強度分布の経年変化がばらつきを表すそれぞれの波の経年変化で表されると仮定することにより局部劣化進行予測を行うこととした．ただし、実施した材料試験が一回目の時、強度分布の経年変化を予測する方法としてばらつきを表すそれぞれの波の振幅が経年によって逆転しないという仮定のもと目的関数を設定し、波の振幅と平均強度および強度変動係数の関係の非線形制約条件を有する最適化問題として局部劣化進行予測モデルを作成する．また、実施した材料試験が二回目以後の場合は、連立方程式による解法を用いることとした．

4. 局部劣化進行予測の例

まず、既存のコンクリート部材に対して材齢 50 年における等間隔 15 点の材料試験結果が得られたとする．ただし、実施した材料試験は一回目であるとする．得られた材料試験結果に対して強度分布推定手法を適用して図 2 のような強度分布が推定される．次に得られた材料試験結果における平均強度および変動係数を用いて、この部材のそれぞれの初期値を求めることによりこの部材固有の平均強度経年劣化モデル（図 3）および強度変動係数経年変化モデル（図 4）を作成する．ただし、図 3 および図 4 は本研究が既存コンクリート橋に対して実施した材料試験結果から得られたモデルを基準モデルと、それに対して初期値を更新して得られた部材固有のモデルを示している．図に示すように得られた材料試験結果では、基準モデルより平均強度が大きく、逆に強度変動係数は小さい値となっている．得られたそれぞれのモデルから、ばらつきを表すそれぞれの波の振幅の経年変化を前述した非線形計画法を用いた最適化手法によりモデル化すると、図 5 のような強度分布の経年変化モデルつまり局部劣化進行モデルが得られる．

5. まとめと問題点

コンクリート部材のコンクリートの軸方向強度分布を幾何学的に表現する方法として有限フーリエ変換による強度分布推定手法を示した．また、既存コンクリート橋に対して実施した材料試験結果をもとに、軸方向強度分布の経年変化をモデル化する手法を示した．問題点としては、橋梁に対して得られたデータをもとにしているために潜在的に橋梁の特性が含まれている可能性があり、橋梁以外のコンクリート部材に対する適用性の検証が必要であると考えられる．また、強度の劣化に影響を及ぼす条件の相違による影響を考慮する必要があると考えられる．

<参考文献>

- 1) 森川英典，宮本文穂，竹内和美：統計解析に基づく既存コンクリート橋の安全性および寿命評価，土木学会論文集，No.502/V-25，pp.53-62，1994.11
- 2) 河合優，森川英典，片山憲一，山本剛司：パターン化した劣化モデルを考慮した R C 梁のせん断耐荷特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.705-710，1997.6

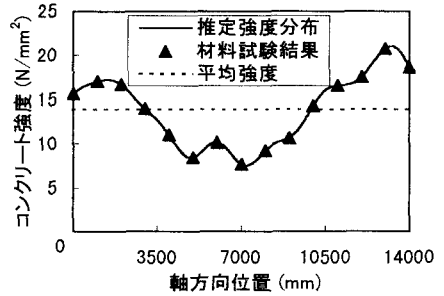


図 2 強度分布推定

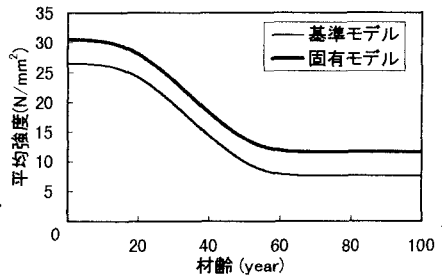


図 3 平均強度経年劣化モデル

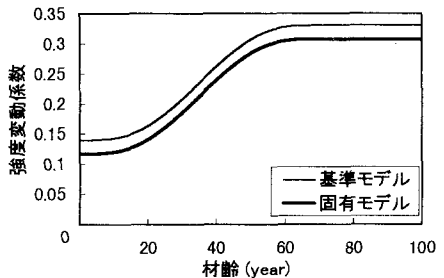


図 4 強度変動係数経年変化モデル

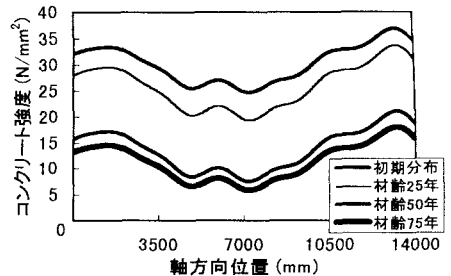


図 5 局部劣化進行モデル