

津波対策を考慮した既設橋梁の補強優先度評価指標
Retrofit Prioritization Index for Existing Bridges including Anti-Tsunami Measure

○五十嵐晃・甲元克明・川内康寛・正木英行

○Akira IGARASHI, Katsuaki KOMOTO, Yasuhiro KAWACHI, Hideyuki MASAKI

For the maintenance of bridges, providing adequate seismic performance as well as anti-tsunami measures are required by appropriate retrofit works. However, such planning can be difficult in some cases due to limited financial and human resources of the administrations that manage huge amount of infrastructure stocks. In order to provide assistance for the maintenance and retrofit planning, a method of retrofit prioritization using only nominal data of dimensions and circumstances, without doing sophisticated structural analysis computation, in particular for anti-tsunami performance.

1. はじめに

橋梁の維持管理においては、必要に応じて適切な地震性能を確保する耐震補強はもとより、津波による橋梁の損傷や流出に対する対策が求められていくと考えられる。一方で、管理対象となる多数・大量の構造物ストック、維持管理に関わる財政の問題、担当技術者の不足等の、橋梁の維持管理を巡る近年の切実な課題を抱えた現状での補強対策の立案実施が困難な管理者も存在する。このような背景のもと、既設橋梁の補強対策の立案実施の支援手法として対象橋梁群に対する対策実施優先順位決定法が提案されている。

ここではその中で橋梁が有する基本的な耐震・耐津波性能を、複雑な構造計算を経ずに簡易に判定する方法について述べる。目的として、調査点検が十分に行われていない状況でも道路管理者が初期調査や対策の優先順位の概略を判定できる方法の開発を狙いとしている。

2. 補強対策の優先度評価

(1) 補強対策優先度判定の考え方

橋梁の補強対策優先度評価にあたっては、個々の橋梁の性能を「耐震性能」「津波に対する抵抗性」の2つに分け、複雑な構造計算をせず外形的な情報のみを用いて点数化し、一方で「重要度」についても点数化を行う。これら3つの点数を基に次式の優先度評価指標の値を算出し、その値の低い橋梁の優先度が高いとする方法が考えられる。

$$P = \frac{\alpha + \kappa}{\varepsilon}$$

ここに、 P は優先度評価指標、 α は耐震性能評価指標、 κ は津波に対する抵抗性の評価指標、 ε は重要度係数である。構造物の性能が高いほど α または κ が大きく、橋梁の重要度が高いほど ε が大きくなるような点数化ルールを定める。性能が低く重要度の高い橋梁ほど評価指標 P が小さくなり、補強対策優先度が高いことが判定される。

(2) 耐震性能評価指標

耐震性能評価指標 α は次式で評価する。

$$\alpha = \gamma + \eta$$

ここに、 γ は上部工の、 η は下部工の耐震性能の得点である。平成8年道路橋示方書を満足していれば α が基礎点である20点となる配点としている。

(3) 津波に対する抵抗性評価指標

津波抵抗性評価指標 κ は次式で評価する。

$$\kappa = \beta + \lambda$$

ここに、 β は津波による水平力、 λ は鉛直力に対する評価指標である。耐震性能との整合を図るため津波の影響を受けない橋梁の κ は満点20点（耐震性能の基礎点と同一）となる配点としている。

Table 1. Indices and scores for priority assessment

| 評価指標 | 記号 | 基礎点 | 点数の範囲 |
|-----------|---------------|------|-----------|
| 耐震性能 | α | 20.0 | 0.0~24.79 |
| 上部工耐震性能 | γ | 10.0 | 0.0~13.79 |
| 下部工耐震性能 | η | 10.0 | 0.0~11.00 |
| 津波に対する抵抗性 | κ | 10.0 | 0.0~20.0 |
| 水平力抵抗性 | β | 5.0 | 0.0~10.0 |
| 鉛直力抵抗性 | λ | 5.0 | 0.0~10.0 |
| 重要度 | ε | 1.0 | ~1.06 |
| 補強優先度 | P | 30.0 | 0.0~42.25 |

3. 津波に対する抵抗性の評価

(1) 水平力抵抗性の評価

Fig.1 に示すように、津波時に上部工が橋軸直角方向の流速 v の水中にある状況を前提とする。

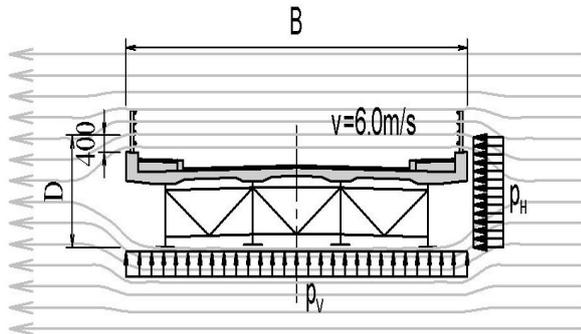


Fig.1. Horizontal and vertical forces on bridge superstructure

上部構造への津波による水平力 F を

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho_w A_n v^2$$

$$C_d = \begin{cases} 2.1 - 0.1 \frac{B}{D} & \left(1 \leq \frac{B}{D} < 8 \right) \\ 1.3 & \left(8 \leq \frac{B}{D} \right) \end{cases}$$

により定める。ここに、 C_d は抗力係数、 $\rho_w = 1030 \text{ kg/m}^3$ 、 A_n は有効鉛直投影面積、 B は断面総幅、 D は断面総高である。東北地方太平洋沖地震時に撮影された動画の分析に基づき、平均速度として流速 $v = 6.0 \text{ m/s}$ とする。

これに対し、津波に対する上部構造の水平抵抗力 S を、上部構造鉛直反力と鋼・コンクリートの間の摩擦係数 μ (既往の実験結果より 0.6) を乗じて求める。

$$S = \mu (W - U)$$

ここに W は上部構造死荷重重量、 U は水没時の浮力であり

$$U = \rho_w V$$

V は上部構造の体積である。

この桁抵抗力 S の津波作用力 F に対する比 F/S が 1 よりも大きければ上部構造の抵抗力が水平力を上回ることに対応することから、 F/S に Table 1 に示した基礎点 5.0 を乗じることで水平力抵抗性評価指標 β とする。

$$\beta = P_1 \cdot \frac{F}{S}$$

ここに、 $P_1 = 5.0$ である。また、 β の最大値は 10.0 とし、津波の影響を受けない場合をこの最大値であるとした。

(2) 鉛直力抵抗性の評価

津波により上部構造に作用する上揚力 P_Q は、模型実験による次式で評価する。

$$P_Q = 0.4 \rho_w g (a_H - Z_1)$$

ここに、 Z_1 は桁下高、 a_H は波高である。

鉛直抵抗力は、上部構造重量 W のみとする。抵抗方向が主に橋軸方向である落橋防止ケーブルや制震ダンパーの寄与は考慮しないこととした。また、支承部のサイドブロックは上部構造死荷重重量に対して鉛直方向耐力が十分小さいとして、これも無視した。

鉛直抵抗力の上揚力に対する比が 1 よりも大きい場合は上部構造死荷重重量が大きく、上方移動しにくい橋梁であることから、この比に基礎点 $P_2 = 5.0$ を乗じた値を鉛直力抵抗性評価指標 λ とする。

$$\lambda = P_2 \cdot \frac{W}{P_Q B L}$$

ただし最大値を 10.0 とし、津波の影響を受けない場合の λ はこの最大値であるとした。

4. 橋梁の重要度

重要度係数 ε を構成する要素は Table 2 に示す 6 項目である。

Table 2. Importance factors

| 評価指標 | 記号 | 基礎点 | 補正係数 |
|-------------|-----------------|-----|---------------------|
| 平日交通量 | ε_1 | 0.4 | $J_1: 0.4 \sim 1.1$ |
| 緊急輸送路指定 | ε_2 | 0.2 | $J_2: 0.5, 1.0$ |
| 隣接橋梁からの迂回交通 | ε_3 | 0.2 | $J_3: 0.6 \sim 1.1$ |
| ライフラインの添架 | ε_4 | 0.1 | $J_4: 0.6 \sim 1.0$ |
| 高速道路 | ε_5 | 0.1 | $J_5: 0.8, 1.0$ |
| 基礎点 | - | 1.0 | $J_6: 1.0$ |

各項目の内容により補正係数 $J_1 \sim J_6$ を与え、基礎点 \times 補正係数の和を重要度係数 ε とし算出する。

$$\varepsilon = J_1 \varepsilon_1 + J_2 \varepsilon_2 + J_3 \varepsilon_3 + J_4 \varepsilon_4 + J_5 \varepsilon_5 + J_6 \varepsilon_6 =$$

基礎点の意味は、評価項目における重み付けである。重みは交通量を最大の 0.4 点、災害時であることを鑑み緊急輸送路指定されているかどうかに応じた点数を次いで重く 0.2 点、他を 0.1 点とした。

さらに、具体的な事例として大阪・淀川に架かる橋梁群を対象として、提案する判定手法を用いた評価およびその検討を行った。その結果については会場にて発表する。