

性能照査型維持管理法と既設構造物への信頼性指標 β 算定の試み

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 ○ 橋 吉宏 石川裕一
 中日本高速道路 金沢支社 森山 守
 長岡技術科学大学 長井正嗣 岩崎英治 宮下 剛

1. はじめに

道路利用者に対して、管理機関は「適切な安全を提供していること」への説明責任がある。専門家でない道路利用者に説明する方法は様々であるが、NEXCO 中日本・金沢支社では「より科学的・合理的に説明できる保全」をスローガンとした取組みを進めている。安全に関しては、「安全に絶対はない」を大前提として、確率、信頼性理論を用いて科学することがグローバルスタンダードとなっており、この考え方のもとに ISO の関係する規格が定められている。既設構造物の性能評価および維持管理法を規定した ISO13822 は、劣化した構造物に対して信頼性指標 β を算出して、破壊確率と関係するこの数値指標 β により構造物の状態を評価して、目標とする β を保つように保全を行う枠組みを示すものである。本報告は、腐食により損傷を受けた鋼橋の桁端部を対象に、 β の算定を試みた結果を報告するものである。

2. 桁端の腐食と信頼性指標 β

図-1 は実橋における補修前の桁端の腐食状況である。ウェブ断面の欠損が進み補剛材で抵抗している状態である。荷重集中点である桁端部補剛材は柱として設計され、この部分に破壊が生じると伸縮装置に大きな段差を生じ、利用者が事故を起こす可能性が高まり落橋同様に危険である。

建設時から劣化が進むイメージを図-2 に示す。荷重作用分布 $f_s(s)$ と部材抵抗分布 $f_R(r)$ が交わる場所で破壊を生じ、時間の経過で損傷が進むと破壊確率は高まっていく。性能関数 Z を $Z = f_R(r) - f_s(s)$ で定義すれば、 Z の平均値 μ_Z は $\mu_Z = \mu_R - \mu_S$ で表される。 $f_R(r)$ と $f_s(s)$ はそれぞれ標準偏差 σ_R と σ_S を有し、 $\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$ とすれば、信頼性指標 β は $\beta = \mu_Z / \sigma_Z$ で定義される。 β と破壊確率は表-1 の関係にあり、腐食により断面欠損が進めば β は小さくなり、 β が小さいほど破壊確率は大きくなる。ここで性能関数の平均値 $\mu_Z = F_y - (D+L)/A$ として、 β の算定を試みた。ここに F_y は降伏強度の平均値、 D は死荷重強度の平均値、 L は活荷重強度の平均値、 A は柱としての有効断面の平均値である。それぞれの項が確率変数であり、平均値と標準偏差が既知であれば β の算定ができる。なお、座屈については、図-1 の状況では鋼材の降伏よりも安全性が高いので、ここでは照査は省略した。

3. 不確定要因

β を試算する対象部の諸元および確率変数を表-2 に示す。対象とした橋梁は、支間長 47.0m、有効幅員 10.5m の 4 主桁橋の単純合成桁橋である。

1) 荷重側不確定要因 支点反力の設計値は、死荷重 94.10tf、活荷重 55.40tf であり、文献 1) を参考に死荷重と活荷重のばらつきを考慮した。活荷重については、まずは対象路線において再現期間における最大荷重を



図-1 補修前の桁端腐食の状況例

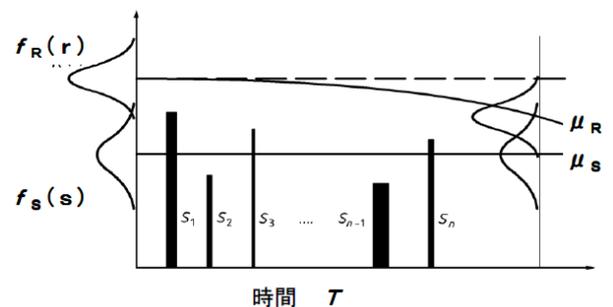


図-2 劣化進行のイメージ

表-1 破壊確率と β の関係

破壊確率	β	破壊確率	β
0.50	0.00	10^{-4}	3.72
0.16	1.00	10^{-5}	4.27
10^{-1}	1.29	10^{-6}	4.75
10^{-2}	2.32	10^{-7}	5.20
10^{-3}	3.09	10^{-8}	5.61

キーワード 性能照査, 維持管理, 信頼性指標 β , ISO13822, 鋼橋

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町3-7-1 TEL 076-264-7872

予測する必要があるが、現在分析中である²⁾。

表-2 不確定要因の平均値と標準偏差

ここでは、文献1)に示されている再現期間 100 年における活荷重断面力として、2 車線で支間長 47m、大型車混入率 30% の場合を想定して、設計断面力の 1.3 倍、標準偏差は 0.056 L を用いた。

不確定要因		基準値	平均値/基準値	標準偏差	備考
荷重側	死荷重	床版 2.50t/m ³	1.050	0.0138	文献1)による荷重の割合が大きい床版のデータを使用した
		鋼重 7.85t/m ³	1.002	0.0121	
		舗装 2.30t/m ³	1.030	0.0500	
荷重側	活荷重	TL20 TT43	1.300	0.0560	再現期間100年を想定した文献1)による
抵抗側	降伏強度	JIS規格下限値	1.232	0.1011	文献3)による
	ウェブ・補剛材の板厚	計測値 パラメータとした	計測値	計測誤差に依存	$\sigma_M=0.0\text{mm}\sim 1.2\text{mm}$ で試算

2) 抵抗側不確定要因 鋼材の材質は SM41、桁端のウェブ板厚 9 mm、補剛材は 2-22 mm

×200mm であり、不確定な要因として鋼材強度と断面欠損量の測定精度のばらつきがある。鋼材強度のばらつきについては文献 3) を参考にした。断面欠損量に対して、測定精度が影響する。たとえば板厚の測定で従来からの板厚測定器キャリパは精度が高く、最新の技術の 3D スキャナはそれよりも精度は悪い。ここでは、平均板厚測定誤差の標準偏差 σ_M を $\sigma_M=0.0\text{mm}\sim 1.20\text{mm}$ と変化させて β の試算を行った。なお、腐食の劣化モデルとして、ウェブが最初に断面欠損を生じた後に補剛材の板厚が減少するモデルを想定した。ここで、ウェブの有効幅については $9\text{mm}\times 24=216\text{mm}$ で固定して有効断面 A の算定を行った。

4. β の算定結果

β の算定にあたり、AFOSM (Advanced First Order and Second-Moment) 法を用いた。表-3, 4 に β の算定結果を示す。ts は補剛材、tw はウェブの板厚であり、最上段は設計における板厚である。表-3 では、許容応力度設計法における安全率と共に示した。IS013822 では目標とする β として 3.8 を推奨しており、本試算の条件では許容応力度設計法の安全率 1.5 に対応する。逆に安全率 1.5 で照査を行えば $\beta=3.8$ を保つことができることがわかる。表-4 は、平均板厚測定誤差の標準偏差 σ_M が β に及ぼす影響である。 σ_M が大きいすなわち計測誤差の大きい計測器を用いると β は小さく評価されるが、 $\sigma_M=0.0\text{mm}\sim 0.4\text{mm}$ までは β はほとんど変化しない。したがって、 β の算定には板厚測定の精度をむやみに上げる必要はなく、使用する測定器の σ_M を把握して、それを反映することが重要であることがわかる。

表-3 安全率と β の関係

残存板厚および抵抗面積			許容応力度設計	信頼性指標 β
ts mm	tw mm	A cm ²	安全率	($\sigma_M=0.2\text{mm}$)
22	9	107.4	1.72	4.67
22	6	101.0	1.62	4.34
22	4	96.6	1.55	4.09
22	2	92.3	1.48	3.82
20	2	84.3	1.35	3.24
18	2	76.3	1.23	2.55
16	2	68.3	1.10	1.70
14	2	60.3	0.97	0.64

表-4 板厚計測誤差と β の関係

残存板厚		板厚計測誤差の標準偏差 σ_M						
ts mm	tw mm	0mm	0.2mm	0.4mm	0.6mm	0.8mm	1.0mm	1.2mm
22	9	4.68	4.67	4.66	4.64	4.62	4.58	4.54
22	6	4.34	4.34	4.32	4.29	4.24	4.18	4.10
22	4	4.10	4.09	4.06	4.02	3.96	3.88	3.77
22	2	3.83	3.82	3.78	3.73	3.65	3.54	3.41
20	2	3.26	3.24	3.19	3.11	3.00	2.85	2.68
18	2	2.57	2.55	2.48	2.38	2.24	2.07	1.90
16	2	1.72	1.70	1.63	1.52	1.38	1.24	1.11
14	2	0.66	0.64	0.60	0.54	0.47	0.41	0.36

5. おわりに

腐食により損傷を受けた鋼橋の桁端部を対象に、 β の算定を試みた。実橋で適用するには、その路線における活荷重と、使用する計測器の誤差の標準偏差の把握が必要であり、今後、これらを調査していく予定である。また、管理目標とする β について、AASHTO の Load Rating では定期点検を前提とすれば 2.5 まで許容できるなどの考え方もあり、その設定方法についても議論が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 土木研究所資料第 4141 号：鋼道路橋の部分係数設計法に関する研究-鋼桁橋の照査項目を対象とした信頼性指標 β の評価と抵抗係数の設定に関する検討- (2009. 3)
- 2) 石川裕ら：性能照査型維持管理法の導入に伴う北陸自動車道の活荷重実態の把握、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集 CS 部門 (2014. 9)
- 3) 奈良ら：橋梁向け構造用鋼板の板厚および強度に関する統計調査、土木学会論文集、No. 751/I-66 (2004. 1)