

1. まえがき

わが国では、戦後に始まる高度経済成長期に社会基盤施設が多く建設された。従前、RC 構造は維持管理がほとんど不要な永久構造物と考えられてきた。しかし、現実には、さまざまな要因で劣化が進んでいる。

多くの RC 構造物がこれから更新期を迎える。財政難のわが国にとって、既存構造物の維持管理を合理的かつ少ないコストで進めることが重要である。これからは新規の構造設計に劣化過程を勘案することも必要である。RC 構造内に起こる劣化の早期発見は難しい。補修も困難で、簡易な調査法や新補修技術の開発が求められる。

本研究では、塩害劣化によって状態が変化する RC 橋脚の耐震性能を MSS によって時系列に評価する。

2. MSS による RC 橋脚の性能評価

MSS は、多くの状態量変数からなるシステムに対し、それがあある種の機能に対して最適性能を発揮するに相応しい状態量変数の組合せを探す方法である。

MSS の信頼性指標には、つぎの3つがある。すなわち、期待性能率(E_t)：システムが保有する性能発揮率の期待値で、

$$E_t = \sum_{k=1}^4 g_k p_k(t) \quad (1)$$

から求められる。

稼働率 $A(t)$ ：システムが規定値以上の性能を保持しながら稼働している時の確率で、

$$A(t) = \sum_{k=1}^4 p_k(t) I(p_k \geq w) = p_4(t) + p_3(t) + p_2(t) \quad (2)$$

から計算される。

性能不足率(D_t)：規定性能率に対応した性能不足率で、

$$D_t = \sum_{k=1}^4 p_k(t) \max(w - g_k, 0) = \{0.01 - 0\} p_1(t) \quad (3)$$

から計算される。

3. 劣化過程下の RC 橋脚

劣化過程下にある RC 橋脚の信頼性評価に MSS を適用する。検討対象の構造物は、震度法によって設計された RC 橋脚である。その高さは 10m で、躯体断面を図 1 のように仮定した。

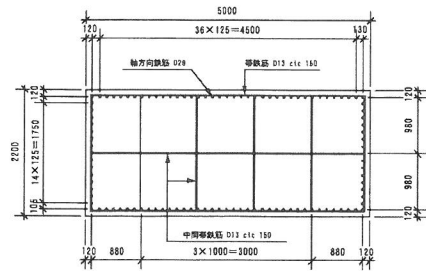


図 1 橋脚躯体断面

塩害による劣化過程は、図 2 に示すように、4 つの状態 で区分される。ここに、状態 4（潜伏期）は健全な状態、状態 3（進展期）は腐食開始の状態、状態 2（加速期）はコンクリートにひび割れが発生した状態、状態 1（劣化期）は耐力喪失状態である。

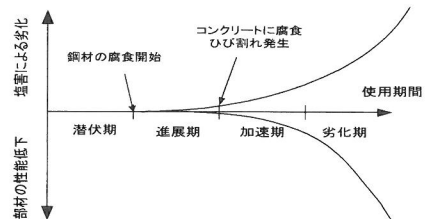


図 2 RC 構造物の劣化の進行状態

3.1 塩害劣化のメカニズム

本研究では、4 状態をつぎのようにモデル化した。

① 腐食開始点 t_{cr}

外部からの飛来塩分とコンクリート表面に付着した塩化物イオンがコンクリート内部に浸透し蓄積され、濃度が高まり、限界濃度を越えた時点 (t_{cr}) から鉄筋の腐食が始まる。

② ひび割れ発生点 t_r

鉄筋の周りの腐食生成物による膨張圧がコンクリートの引張強度を越えた時点 (t_r) でひびが入る。

③ 耐力喪失点 t_f

H.14 以前の示方書の震度法の規定である「設計水平震度と橋脚の等価重量の積」に安全率 1.15 を掛けたものを限界水平耐力とし、耐力が限界水平耐力に達する時間を耐力喪失点 t_f と定義する。

以上の塩害劣化予測法から、 t_α は 24 年、 t_r は 28 年、 t_f は 123 年と推定された。

3.2 RC 橋脚の数値解析の条件と解析結果

地震力が作用する RC 橋脚の劣化過程下の性能を評価する。コンクリートをソリッド要素、鉄筋を棒要素でモデル化し、汎用有限要素解析プログラム“MARC2005r3”によって RC 橋脚の強度と変形を弾塑性有限変位解析して求める。地震力に相当する水平変位を増分量 0.3cm で脚頂に強制的に作用させる。その結果、図 3 に示す荷重－変位曲線を得た。

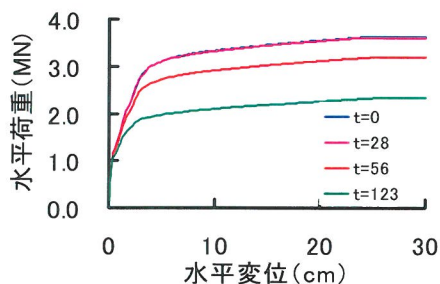


図 3 水平荷重－水平変位の関係

図から明らかなように、 $t < 28$ のコンクリートにひび割れが発生するまでの状態では、鉄筋の断面積がほとんど減少しないため、耐力は低下しない。しかし、 $t > 28$ のひび割れ発生後の状態では、断面積の減少率が徐々に大きくなり、保有耐力も減少する。

4. MSS による RC 橋脚の性能評価

対象橋脚における時刻 t での状態 4～状態 1 に対応する状態確率 $p_4(t) \sim p_1(t)$ を求める。それぞれの状態での性能劣化をマルコフ過程に従ってモデル化すれば、図 4 を得る。

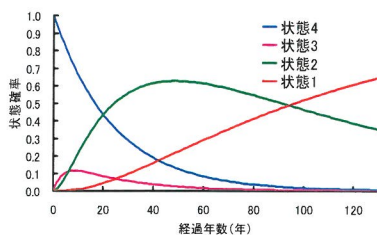


図 4 状態確率と経過年数の関係

2.1 で述べた 3 つの信頼性評価指標を算出し、図 5～図 7 を得た。なお、橋脚は t_f 年後にその耐力を喪失し、

状態 1 に至る。一般に、主鉄筋の断面積の減少率が 20% になると、耐力が急激に低下するといわれている。鉄筋腐食の劣化水準は劣化グレード¹⁾で表され、グレード 3 で鉄筋断面の減少率が 1%，グレード 5 で 20% に、鉄筋とコンクリートの付着力はほぼゼロになる。

ここでは、鉄筋断面積の減少率が 20% に達した時 ($t=56$ 年) を要求性能の限界点とし信頼性評価した。

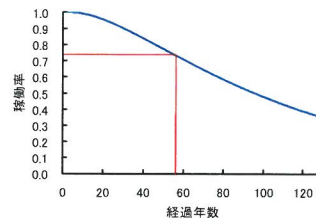


図 5 稼働率

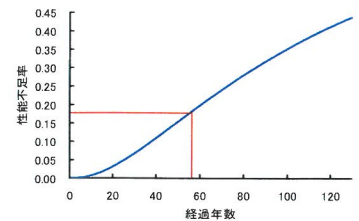


図 6 期待性能率

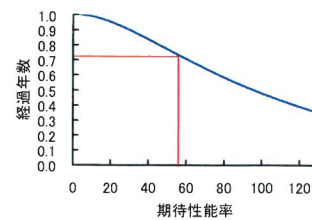


図 7 性能不足値

図 5～図 7 から明らかなように、期待性能値から RC 橋脚の性能が要求性能に対し、どの程度不足しているかを定量的に把握できるため、日々変化する性能劣化に対して構造物の目的に応じた補修が可能となる。また、従来の信頼性評価手法では、供用期間中の信頼度をある水準以上に維持する信頼性設計しかできないが、MSS による信頼性評価法によれば、ある水準までの性能劣化も定量的に把握できる。また、判断基準となる 3 つの信頼性指標によって、劣化で時間とともに性能低下する状態を勘案すれば、構造物の目的に応じた設計が可能になる。

以上のことから、時系列的に変化する RC 橋脚の性能を MSS で評価することは有意である。

5. あとがき

本研究では、MSS によって劣化過程下の RC 橋脚の性能評価を行い、その有意性を示した。ただし、性能を評価したのみで、維持管理計画やサービス水準などには触れなかった。今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 山本佑人・松島学：塩害を受ける RC 構造物の LCC を用いた補修計画に関する研究，H22 年度土木学会全国大会 V-278，2010.9.