

1. はじめに：多主桁のRC橋においては、塩害による劣化速度やそれによる安全性の低下が桁ごとに不均一となり、複雑な状態になる。本研究では、標準的な橋梁条件、塩害環境条件を想定し、同一橋梁内での劣化進行の相違を予測した後、橋梁モデルの確率論的シミュレーションにより、劣化による断面力再配分、断面力のばらつき、耐荷力低下とそのばらつきを評価し、各桁の安全性指標の低下の特性を評価した。

2. 対象橋梁の概要：対象橋梁は、

3 主桁が横桁により連結されたスパン長 13.1m の RC 橋である。その概要を図-1、表-1 に示す。海岸にはほぼ平行に架設され、汀線から約 250m に位置し、対象とするス

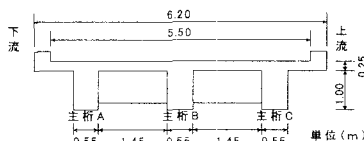


図-1 対象橋梁断面図

表-1 各桁の諸元および初期条件

	A桁	B桁	C桁
かぶり(mm)	50	50	50
コンクリート強度(N/mm ²)	23	30	30
コンクリートの弾性係数(kN/mm ²)	16	21	21
W/C(%)	74	57	57
鉄筋降伏強度(N/mm ²)	294		
鉄筋断面積	8820		
スタースラップ(mm ²)	127.2		
スタースラップ間隔(mm)	300		
表面塩化物イオン濃度(kg/m ³)	3.0	2.0	1.5

パンは橋軸直角方向に流れる河川を跨いでいる。主桁については海側に近い桁から、A 桁、B 桁、C 桁とし、A 桁が最も危険側となるように初期条件を設定した。また、2002 年に改定された示方書¹⁾では、塩化物イオンに対する拡散係数の算出にひび割れの影響が考慮されており、そこで本研究は劣化を促進させる要因として荷重による曲げひび割れを考慮した。また、対象スパン（スパン中央）を3つの領域に分割した領域②（図-2 参照）のみ曲げひび割れの影響を考慮するものとした。断面力の算定にあたっては各桁とも全断面有効時の剛性に対して、後輪がスパン中央部に位置するように総重量 245kN のトラック荷重を2台載荷させた断面力解析を行った。

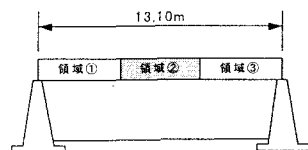


図-2 3領域に分けた対象スパン

3. 劣化進行の予測：潜伏期の予測は Fick の拡散方程式

を用いて、コンクリート中の塩分量が鋼材位置における塩化物イオンの鉄筋腐食発生限界濃度 $C_{lim}=1.2(\text{kg}/\text{m}^3)$ に至る時点として評価を行う。ここで、塩化物イオンに対する拡散係数の算出にはひび割れの影響を考慮した。

$$D_d = \gamma_c \cdot D_s + \left(\frac{w}{l} \right) \cdot \left(\frac{w}{w_s} \right)^2 \cdot D_s \quad (1)$$

γ_c ：コンクリートの材料係数（一般に、1.0）

D_s ：塩化物イオンに対する拡散係数の特性値($\text{cm}^2/\text{年}$)

D_d ：コンクリート中の塩化物イオンに及ぼすひび割れ幅の影響を表す定数

w ：ひび割れ幅(mm) w_s ：許容ひび割れ幅(mm) l ：ひび割れ間隔(mm)

この曲げひび割れ幅は断面力解析により求められた発生曲げモーメントから算出し、これを曲げ載荷時の初期曲げひび割れ幅とした。潜伏期の結果（表-2）より、A 桁の劣化進行が早く、また、曲げひび割れを考慮した領域②の劣化進行が早いことが分かる。

本研究では進展期は考慮せず、加速期以降の予測を鉄筋断面減少率に着目して行った。潜伏期の始点を0とした Δw の経時変化を図-3 に示す。鉄筋の腐食速度は各主桁ともに5年程度で上限値に達するため、腐食減量率の増加傾向は線形となる。

4. 安全性評価：発生断面力および曲げ耐荷力の不確定性が部材の安全性に及ぼす影響を評価するため、安全性指標 β を用いて安全性評価を行う。そこで、発生断面力（発生曲げモーメント）は、モンテカルロシミュレーションによる不確定性を考慮した断面力解析によって算出する。ここで、断面剛性は過去の実験データ

表-2 潜伏期間

A1A3	A2	B1B3	B2	C1C3	C2
2.04年	1.93年	8.86年	8.13年	19.02年	17.47年

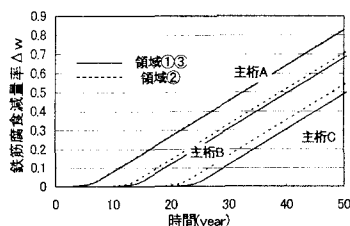


図-3 鉄筋腐食減量率の経時変化

基づいて構築した次式を用いて低下させ、変動係数を20%と設定し、各主桁一様に変動させた。

$$K = K' (0.313 + 0.687 \cdot n) \quad (2)$$

K : 腐食後の断面剛性 K' : 腐食前の断面剛性 ただし、 $n=1-1.13 \cdot \Delta w$

また、初期曲げひび割れの存在は建設初期から剛性が低下していることを表し、このときの剛性（初期剛性とする）はひび割れ深さがコンクリートの引張領域まで達している時と同程度であったため、これ以上、ひび割れは進展しないものと仮定した。したがって、本研究では曲げひび割れの進展による断面剛性の低下は考慮せず、初期剛性に塩害の影響（鉄筋腐食減量率）を与えることで剛性を低下させた。解析結果を図-4に示す。

荷重再配分の影響で劣化進行の遅い桁Cに断面力が集中している。断面力が集中する桁の変動係数が小さくなっていく傾向がみられ、逆に断面力が小さな桁の変動係数は大きく、これらのばらつきが安全性に大きく影響を与えるのではないかと考えられる。

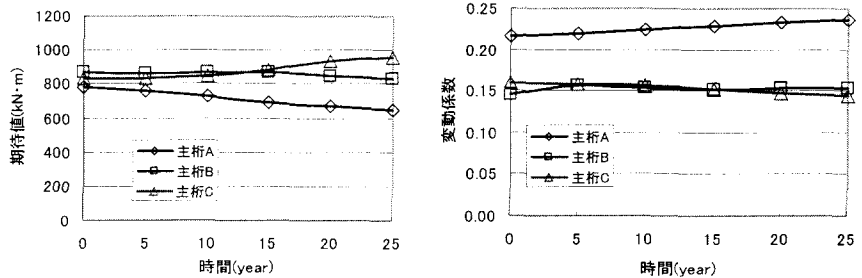


図-4 断面力（曲げモーメント）の解析結果

曲げ耐力力は力学的性能と付着性能の低下を表現したモデル

（図-5）を用いたFEM解析によって算出した。解析の詳細は森田らの研究²⁾を参考にした。解析結果を図-6に示す。耐力力評価に関わる不確定量としては曲げ耐力力に与える影響が大きいと考えられる主鉄筋の降伏強度のばらつきに着目し、変動係数

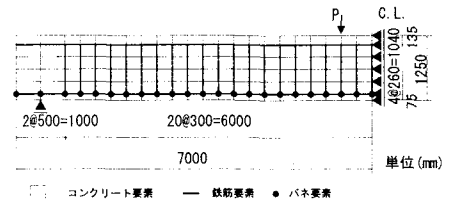


図-5 FEM解析モデル

20%を与え、曲げ耐力力の標準偏差を算出した。図-7に安全性指標の経年変化予測を示す。発生断面力の平均値だけを見ると剛性の小さな桁の断面力を剛性の大きな桁が負担するという荷重再配分の影響を受けているのが分かるが、発生断面力と耐力力の不確定性を考慮した安全性指標からはそのような影響が見られない。このことから部材のみに着目して設計時の最大断面力に対する評価を行うだけでは不十分であり、構造物全体として断面剛性の低下による発生断面力のばらつきを考慮した評価が必要であることがわかる。また、劣化進行の早い桁の安全性が危険になることから、安全性の限界値に達した時の腐食量を限界腐食量とする考え方が提案できる。ここでは、腐食減量率約23%が限界腐食量となった。

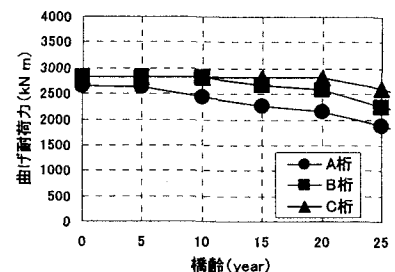


図-6 曲げ耐力力の経年変化

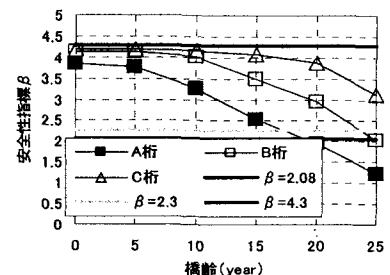


図-7 安全性指標の経年変化

5. まとめ : 1. 荷重再配分の影響で最大断面力は劣化が小さい桁に集中するが、その桁の安全性は危険な評価となっていない。したがって、断面剛性の低下による発生断面力のばらつきを考慮した構造物全体の評価が必要である。

2. 劣化進行の早い桁の安全性が危険側となることから、安全性指標が限界値に達した時の腐食量を限界腐食量とする考え方が提案できた。

【参考文献】1) 土木学会：コンクリート標準示方書「構造性能照査編」，2002。

2) 森田祐介，森川英典，小林秀恵：季節変動条件を考慮したRC部材の鉄筋腐食進行モデルと評点法による性能評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.1519-1524，2002.6。