コンクリート構造物の性能照査技術の再構成と展望

コンクリート研究室　安藤　翔太
指導教員　下村　匠

１．はじめに

性能照査とは設計されたコンクリート構造物が，設計耐用期間中に要求性能を満足することを確かめる行為である(**図 1**)．荷重・環境作用を受ける構造物の応答を予測し，照査を行うわけである．構造物の応答を予測する際に安全性照査を例にすれば，現在のコンクリート標準示方書のように“断面”として断面力と断面耐力を用いて照査する場合や，3 次元 FEM 解析を用いて構造物全体をモデル化し，安全性を照査する場合などが考えられる．耐久性照査についても現在は鋼材の腐食発生を限界状態に設定しており，断面要素に環境作用として表面塩化物イオン濃度を設定し照査を行う．安全性照査と同様に考えれば，耐久性照査においても構造物の形状等を反映し，構造物スケールで構造物内の位置ごとの環境作用を予測し，照査を行うといったことも考えられる．

設計耐用期間中の構造物の性能の低下を一切許容しない現在は，塩害における耐久性照査の限界状態を鋼材腐食の発生に設定している．仮に設計耐用期間中に，より劣化を想定する場合は腐食ひび割れの発生や鋼材腐食による耐力の低下を耐久性照査の限界状態に設定することも考えられる．

現在，安全性照査，耐久性照査において“断面”というスケールで照査が行われている理由として，技術的に簡便なことが挙げられる．同様に耐久性照査の限界状態に腐食の発生が設定されている理由も，簡便に安全側の照査が可能であることが考えられる．一方，現在の性能照査技術は進歩しており，構造物全体をモデル化し照査を行うことや耐久性照査の限界状態をより劣化した状態に設定し照査を行うことを視野に入れることができる．

そこで本研究では，耐久性照査の限界状態を変化させた場合の利点や，断面ではなく部材，構造物としてモデル化し性能照査を行うことの利点を検討する．本研究で行った検討を図示する(**図 2**)．

２．検討①限界状態の違いによる耐用年数の変化

限界状態をより劣化した状態に設定することの利点を限界状態の至るまでの耐用年数を指標に定量的に検討する．W/C=0.45, c=50mm, b=100mm, d=150mm, As=198.6mm^2 の RC 断面を対象に右の塩害劣化モデルで計算を行った．曲げ耐力の低下は断面減少を考慮して曲げ理論の則った計算で算出した．C_0=4.5kg/m^3 とした．

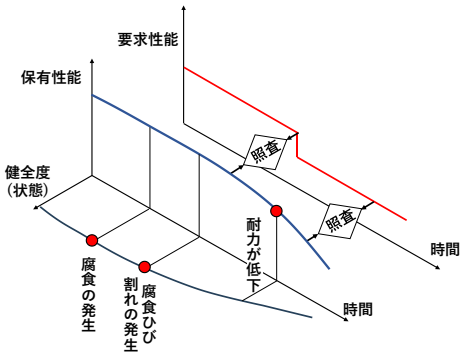

図 1　性能照査の概念図

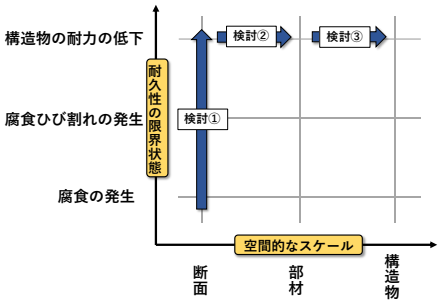

図 2　本研究の検討内容

[塩分の浸透]

$$C(c,C_0,D_c,t)=C_0\left\{1-erf\left(\frac{0.1\cdot c}{2\sqrt{D_c\cdot t}}\right)\right\}$$

[腐食速度]

$$q=0.0926\cdot exp\left\{(0.0261\cdot\frac{W}{C}-0.972)\cdot C(c,C_0,D_c,t)\right\}\cdot\frac{1}{\sqrt{c}}$$

[腐食ひび割れ]

$$W_{corr}=\frac{\rho_s}{\pi(\gamma-1)}\left\{\alpha_0\beta_0\frac{0.22\{(2c+\varphi)^2+\varphi^2\}}{E_c(c+\varphi)}f'^{2/3}_c+\alpha_1\beta_1\frac{(c+\varphi)}{(5c+3\varphi)}w\right\}$$

試計算の結果,『腐食の発生』までの耐用年数が 62 年,『腐食ひび割れの発生』までが 88 年,『耐力が 20%低下』までが 129 年となった．この結果から，限界状態をより劣化した状態に設定することによる耐用年数の増加は数十年という単位で存在することが確認できた(**図 3**)．

３．検討②部材内の腐食分布を考慮する利点

構造物に一定の環境作用を設定する場合は，部材内のどこで鋼材腐食が生じているのかといった空間分布を予測することができない．部材内の環境作用の位置ごとに予測し部材内の鋼材腐食の空間分布を予測することの利点を検討する．局所的に腐食した供試体を作製し，載荷試験を行った．載荷試験結果と腐食分布を予測しない場合の解析値をあわせて示す(**図 4**)．断面力の大きい支間中央に腐食が導入した供試体は解析値と同等の耐荷力となっている．断面力が比較的小さい，せん断，定着部分に腐食を導入した供試体は耐荷力の低下はあまりない．腐食の分布を予測し，局所的な腐食を考慮できる場合は耐荷力に影響のない断面力の小さい位置の腐食を許容できるといった利点が考えられる．

４．検討③構造物の腐食分布を考慮する利点

検討②では，部材内の腐食の空間分布を予測することの利点について検討を行った．次に，構造物内の腐食分布を予測することの利点を検討する．RC はり３本で構成される供試体を作製し載荷試験を行った．劣化部材の位置と本数をパラメーターに設定した．載荷試験結果と腐食分布を考慮せずに算出した解析値をあわせて示す(**図 5**)．腐食分布を考慮しない解析値は健全部材の耐力を適切に評価することができないので，当然，すべての実験ケースよりも低い耐荷力となっている．実験ケース同士の比較においても，劣化部材の割合が同じであっても劣化部材の配置によって耐荷力が異なることが確認された．**図 6** に示すように[M3-N-M4]は，左右対称に配置されているため，軸直交方向の回転が生じずに 3 本のはりの中央変位がほぼ同じ値のまま終局している．中央に配置された健全部材が多くの荷重を受け持つ耐荷機構が形成されたことが高い耐荷力の要因であると考えられる．[M1-M2-N]のように左右非対称に劣化部材が配置されている場合は，1 つの部材が降伏すると回転が生じ，健全部材が多くの荷重を負担するといった耐荷機構にはならず，先に降伏した劣化部材の変形が増大し終局に至ると考えられる．構造物内の劣化部材の位置により耐荷機構が異なることが実験により，確認された．

構造物内の腐食分布を考慮することで，劣化部材の位置の違いによる耐荷機構の違いを性能照査の中で考慮できるといった利点があると考えられる．

５．まとめ

本研究では，性能照査技術の進歩を視野に入れ，部材，構造物としてモデル化することの利点や，より劣化した状態を限界状態に設定することの利点を検討した．その結果，耐用年数の増加や，構造性能を適切に評価し，性能照査できることが確認された．

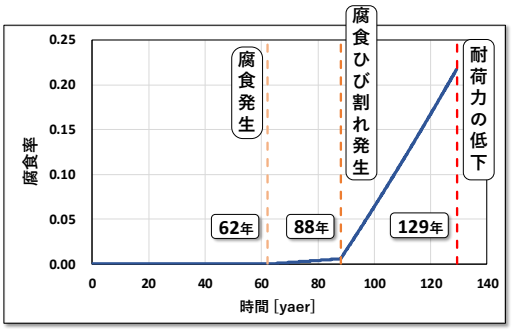

図 3　各限界状態における耐用年数

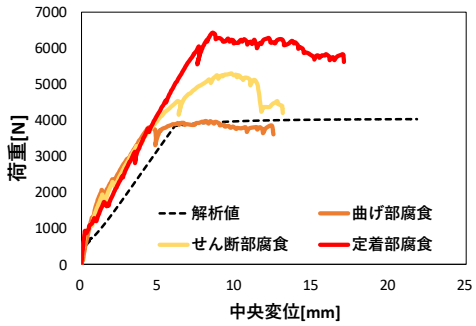

図 4　局所的に腐食した部材の載荷試験結果

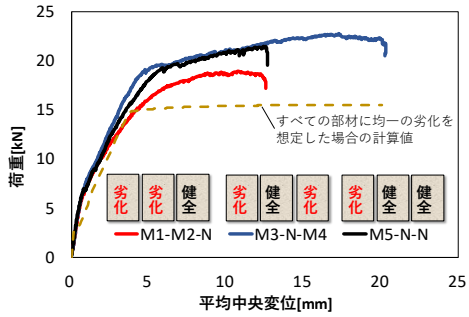

図 5 劣化部材を有する構造物の載荷試験結果

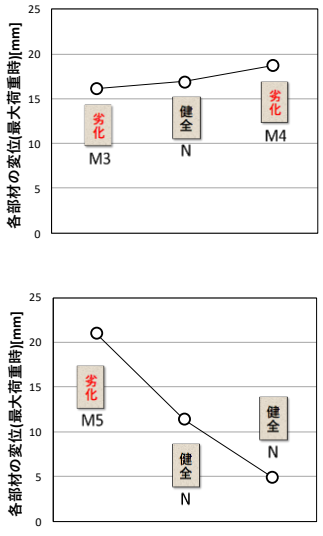

図 6　最大荷重時の各部材変位