コンクリート構造物の凍害劣化補修の実態調査およびその分析

東電設計（株）　正会員　○鈴木　修一
東京電力ホールディングス（株）　フェロー会員　堤　知明

１．はじめに

寒冷地に建設されたコンクリート構造物については，過酷な劣化環境におかれているものもあり，経年的な劣化に対しては補修によりその機能を保持させてきた．しかしながら，いったん補修を行っても再劣化が生じているケースも見られる．本論では，竣工から 50 年以上経過した水力発電所コンクリート構造物の凍害劣化補修の実態を調査して，再劣化に与える影響分析を行った．

２．調査データ

収集した補修工事について整理した結果を**表-1** に示す．補修工事では，基本的に下地処理ののち断面修復が実施され，一部では下地強化材および表面仕上げが行われる．下地処理は高圧洗浄による斫りが行われていた．断面修復材には，これまで，セメント系，樹脂系のポリマーセメントモルタルまたはモルタルが用いられてきた．一部では，補修材中に金網を挿入させていた．下地強化を行う場合は樹脂系接着材が用いられていた．表面仕上げの仕様は個々で異なっている．対象の 10 地点では，平成 16 年に付着試験が実施されている．その結果の平均的な付着強度を**表-1** に併せて示す．なお，表中の竣工からの経過年数および補修からの経過年数は，それぞれ付着試験実施時に対するものである．**写真-1** に一例として B 発電所，余水鉄管固定台の再劣化状態を示す．

３．付着強度データに基づく分析

補修材の再劣化の指標には，補修材のひび割れ密度，付着面積および付着強度等がある．そのうち付着強度に着目して再劣化に与える影響について定性的および定量的評価を試みた．本論では，重回帰分析を用いた定量的評価について述べる．付着強度は断面修復材の仕様によって異なるため，付着強度の代わりに付着強度低下率（付着強度/材料スペック）を用いることにより，全補修材料を対象として付着強度低下に影響を及ぼす施工条件および環境条件について分析した．**図-1** は補修からの経過年数と横軸に取り，付着強度低下率の状態を示したものである．重回帰分析の説明変数は，補修からの経過年数の他，対象の 10 地点で収集した以下に示す 16 パラメータである．

【重回帰分析に用いたパラメータ】

・目的変数：付着強度低下率（付着強度/材料スペック）

・説明変数（16 変数）：経過年数（竣工），経過年数（補修工事），壁面の方角，破壊域（界面または補修材で剥がれる割合），斫り深さ，表面処理の有無，下地処理の有無，補修材の施工層数，補修材の厚さ，外気温度（付着試験時），外気湿度（付着試験時），水分量（表面から深さ 10mm で計測），水分量（表面から深さ 100mm で計測），温度（表面から深さ 100mm で計測），中性化の有無，金網の有無

なお，重回帰分析を行うに当たり，目的変数（付着強度低下率）と各説明変数との相関（単相関）を調べたところ，付着強度低下率は，経過年数（補修工事），破壊域（界面または補修材で剥がれる割合），外気温度および温度（表面から深さ 100mm で計測）と比較的相関が高かったが，それでも 0.2 程度であった．

重回帰分析は変量減少法で行い，重回帰式および各説明変数の有意性は帰無仮説の棄却により判定し，その際の有意水準は 5%とした．その結果，付着強度低下率の重回帰式を構成する説明変数は 7 変数に絞られた．その際の重回帰式の F 値は 0.002 である．算定された重回帰式を以下に示す．

（付着強度低下率）

＝-0.391×（経過年数（補修工事））＋0.210×（壁面の方角）＋0.003×（破壊域）＋0.054×（斫り深さ）＋2.286×（表面処理）＋1.651×（下地強化）＋0.012×（外気温度）－0.053×（温度（表面から 100mm で計測））+0.656

キーワード　コンクリート構造物，凍害，再劣化，重回帰分析
連絡先　〒135-0062　東京都江東区東雲 1-7-12　KDX 豊洲グランドスクエア 9F　東電設計(株)　ＴＥＬ03-6372-5527

表-1 凍害劣化補修の実態調査結果

地　点	補修からの経過年数(年)	補 修 内 容	平均付着強度(N/mm^2)
A発電所，水槽	16	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 表面仕上げあり	0.26
A発電所，水圧鉄管固定台	4	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(20～30mm) 金網あり	1.09
B発電所，余水鉄管固定台	10	下地処理：斫り(0mm)，高圧洗浄 断面修復材：モルタル(5mm) 下地強化あり，表面仕上げあり	1.14
C発電所，水圧鉄管固定台	5	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(30mm) 下地強化あり	0.65
D発電所，ダム堤体上流面	10	下地処理：斫り(40mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(50mm) 下地強化あり，金網あり	2.28
E発電所，水圧鉄管固定台	5	下地処理：斫り(30mm)，洗浄なし 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(30mm)	1.35
F発電所，ゲートピア	12	下地処理：斫り(10mm)，エアー洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(10mm) 表面仕上げあり，金網あり	0.51
G発電所，水路橋	18	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(3mm) 表面仕上げあり	1.55
H発電所，ダム堤体梁部	9	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(50mm) 下地強化あり，金網あり	1.51
I発電所，水圧鉄管固定台	8	下地処理：斫り(30mm)，高圧洗浄 断面修復材：ポリマーセメントモルタル(30mm) 下地強化あり	1.28

重回帰式に基づいて付着強度低下率に影響を及ぼす施工条件および環境条件について考察すると以下のようになる．

・経過年数（補修）⇒経過年数が大きいほど付着強度は低下する．
・壁面の方角⇒北面の方が南面よりも付着強度の低下は小さい．
・破壊域（界面または補修材で剥がれる割合）⇒界面または補修材部で剥がれる方が付着強度の低下は小さい．
・斫り深さ⇒斫り深さが深いほど付着強度の低下は小さい．
・表面処理⇒表面処理をした方が付着強度の低下は小さい．
・下地強化⇒下地強化をした方が付着強度の低下は小さい．
・外気温度⇒外気温度が高い方が付着強度の低下は小さい．
・温度（表面から深さ 100mm で計測）⇒コンクリート内部温度が高い方が付着強度の低下は大きい．

写真-1 再劣化の一例
B 発電所 余水鉄管固定台

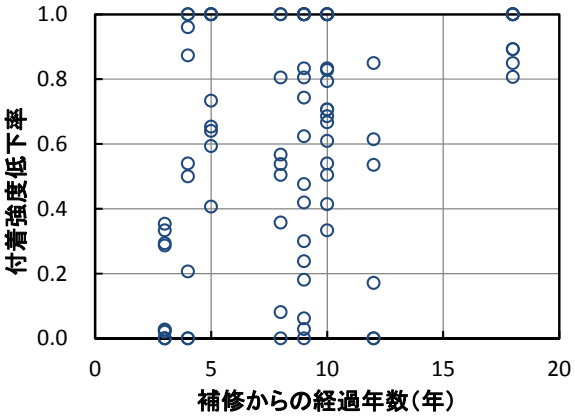

図-1 補修後の経過年数ー付着強度低下率

4．おわりに

重回帰分析により付着強度低下率の予測に役立つと評価された説明変数は，概ね，定性的に再劣化に影響を及ぼすと考えられる施工条件および環境条件と整合性が取れる結果となった．しかし，定性的な評価では，試験時の外気温およびコンクリートの内部温度は付着強度低下率に影響を及ぼすと見なしていない．今後，付着試験の実施および結果の考察の際に，吟味していきたい．