

V-12

寒冷地海洋環境下のRCの補修材
の性能評価に関する実験

桜井 宏 正 員 北見工業大学
 鮎田耕一 正 員 北見工業大学
 山角浩一 正 員 (株)西村組
 岡田包儀 正 員 北見工業大学
 西村貴志 学生員 北見工業大学大学院

1. はじめに

最近、寒冷地海洋環境下のコンクリート構造物は、港湾や防災上の施設としての機能だけでなく、観光資源として新たな機能が要求されるようになってきた。しかし、寒冷地海洋コンクリート構造物の竣工時の美観と耐久性を向上させるための維持管理上の技術開発は、ほとんど進んでいない。これらの構造物の建設の際の技術的な問題点として、構造物の断面の幅が1mを越えたり、連続の構造形式であると、コンクリートの硬化時の水和熱やその後の乾燥収縮により、ほぼ等間隔にひびわれが発生するケースが報告されている。特に、鉄筋コンクリート構造物の場合は、発生したひびわれから海水が浸透し、鉄筋の腐食による錆汁の発生や鉄筋の断面の減少や、凍害等により、美観や耐久性が低下し構造物自体の性能を低下させることが心配される。さらには、構造物の耐用年数を減少させることも危惧されている。

本研究は寒冷地海洋コンクリート構造物の美観と耐久性を向上させるコンクリート構造物の維持管理上の技術の中で、特に検討が必要とされている初期のひびわれを補修する材料の寒冷地海洋環境下での性能を把握することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 実験供試体

実験供試体の配合を表-1に示し、使用材料として、セメントの種類は高炉セメントB種、鉄筋はSD35を用い(鉄筋の降伏強度は3500~4500kgf/cm²)、コンクリートの目標圧縮強度、空気量各々320kgf/cm²、4.5%の凍結融解試験用供試体を計6供試体作成し、図-1のように設置した。材令28日に両端のボルトを締めることにより曲げモーメントを導入して、最大ひびわれ幅を0.5mm程度に制御しながら供試体中央部にひびわれを発生させた。そのひびわれに補修材料を注入した。各供試体の補修の種類を表-2に示す。

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					AE剤	※ 空気量	※ スラック
		W	C	S	G				
46.5	39.9	141	304	742	1115	1.520	4.5(%)	8(cm)	

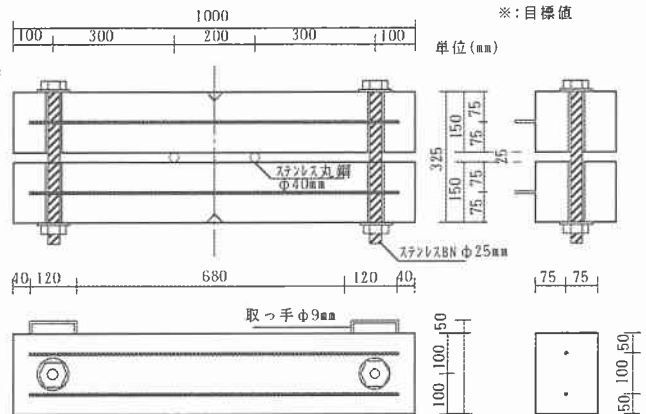


図-1 供試体の形状及び寸法

Some Experiments on Performance Evaluation of Repair Material to RC in the Cold Sea Environment
 by Hiroshi SAKURAI, Koichi AYUTA, Koichi YAMAKADO, Kaneyoshi OKADA, Takashi NISHIMURA

表-2 供試体の補修の種類

ケース	ひびわれ	供試体名	補修材料	補修材料の性質	補修の方法
1	なし	P-1	なし	—	—
		P-2	なし	—	—
2	あり	P-3	高炉スラグ系	高炉スラグ超微粒子を主とした無機コンクリート補修用注入材 水比80%のとき粘度35cp	亀裂表面をシールし水比250%から注入し、150、100、80%と4段階に水比を落として注入
		P-4	樹脂系	極低粘度化され、浸透性に優れているエポキシ樹脂系注入材 粘度500±200cpの範囲で使用	取付けハブをひびわれ中心設置しシール材を塗布後、注入材を圧入し硬化後、取付けハブ・シール材を除去
		P-5	セメント系	超微粒セメントをベースに合成樹脂を主成分とした混和液を混合 混和液の粘度40～50cpで使用	注入ハブを取付けシール材を塗布し注入材を注入し、硬化養生しシール材を除去
3	なし	P-6	(防水材)	有機重合系を主とする撥水性を付与	刷毛で2回塗り

2.2 凍結融解試験方法

凍結融解試験は、材令56日で本学の地域共同研究センター内の低温室を使用し、供試体を海水中に浸し、供試体の中心温度を約-18℃～約4℃に制御した。1日1サイクル程度を標準とした凍結融解試験を実施した。

2.3 測定項目と方法

2.3.1 質量の変化と表面の観察

供試体の劣化そのものを把握するため、図-1に示す供試体をセットした状態で質量を測定し供試体の表面劣化を写真等で記録し観察を行った。

2.3.2 超音波伝播速度

超音波(P波)により、供試体の鉄筋の軸方向のひびわれ面を横断し透過させ補修材の劣化等を把握するための供試体の長手方向の測定(以下側面方向と略)と、ひびわれ面を横断しないコンクリート供試体の劣化そのものを測定する供試体の短手方向の測定(以下上面方向と略)を凍結開始前と各凍結融解測定サイクル毎及び終了時に行った。

2.3.3 自然電極電位

自然電極電位測定位置は、端部(ボルト位置)を基準として50mmごとに750mmまでの15点上下鉄筋位置の表面部(図では引張面)とした。初期値は海水中に浸せき24時間で測定した。また、測定した全ての自然電位を飽和甘こう電極規準(SCE)に換算した。以下に換算式を示す。

$$E = E_m \times (-1) + E_{ref} \dots \dots (式1)$$

ここで、E:換算値、E_m:測定値、E_{ref}:使用した照合電極の電位(-46mVSCE)とする。

一般に-400mV以下が鉄筋の腐食が生じてある目安である。初期と各凍結融解測定サイクル毎に行った。

2.3.4 凍結融解試験後の補修材のひびわれ追従性試験

追従性試験は、図-1のように2つの供試体の間にステンレス丸鋼材を定位置に設置したものと、両側からあらかじめ設置してあるボルトで締めつけることによって、供試体に曲げモーメントを導入し、曲げ応力を加えた。歪はひびわれ導入部(補修部)に石膏を盛り歪ゲージを貼って可能な限りの大きさを計測した。

2.3.5 鉄筋腐食面積

ひびわれ追従試験後、鉄筋を取り出して、ビニールテープを鉄筋の長さ方向に貼り錆を付着させ、剥がした後、トレース方眼紙に移し腐食面積S_s(mm²)を測定する。鉄筋の径をD_s(mm)を10箇所ノギスで1/20mmまで測定し、その平均をとる。剥がし取ったビニールテープの長さL_s(mm)を測定し供試体作成時に測定した鉄筋径

の平均値より周長 V_s (mm)を求め、これらから鉄筋の表面積 $S_T = L_s \times V_s$ (mm^2)を算出し、次式より鉄筋腐食面積率を算出した。

$$S_c = \frac{S_s}{S_T} \times 100 \cdots \text{式(2)}$$

ここで、 S_s : 鉄筋の腐食面積(mm^2)、 S_T : 鉄筋の表面積(mm^2)、 S_c : 鉄筋腐食面積率(%)とする。

2.3.6 塩分含有量試験

塩分含有量試験はひびわれ追跡試験終了後、可溶性塩分定量方法¹⁾におけるイオン濃度計を使ったイオン電極法で行った。供試体を図-2に示すように、補修による塩分の浸入の抑制の程度を検討するためひびわれ発生していない部分A、発生している部分Bを各100mm切断し、深さ方向別に20mm幅で切断し外側からNo. 1~4とした。

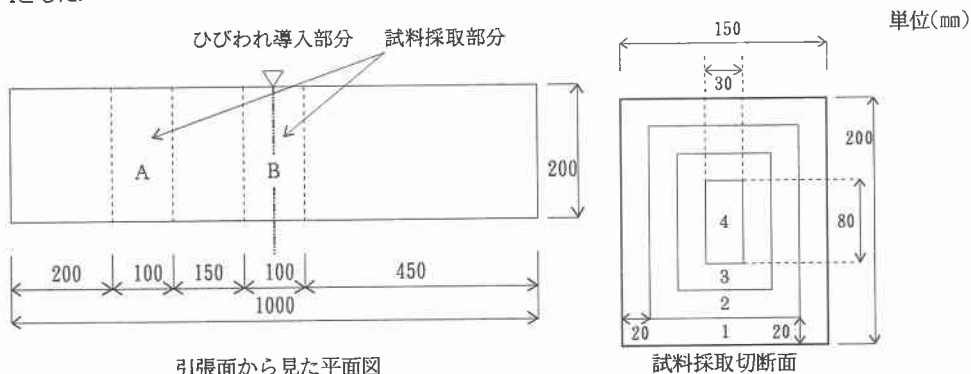


図-2 塩分含有量試験試料採取位置

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

3.1.1 質量変化と表面劣化状況

供試体自体の劣化を確認するため質量変化率を図-3に、各供試体の質量の最終変化率を表-2に示す。P-5とP-6の質量は凍結融解60サイクルで既に96%程度に減少しており、また133サイクルを境にP-1とP-2の質量とP-3とP-4の質量は約96%となり劣化が進んでいる。本実験は海水中の促進試験であり、実際の寒冷地海洋下の環境条件に比べ厳しい条件であることが確認される。なお、既往の研究によると水中凍結融解は気中凍結融解に比べ、約10倍程度の劣化が促進することが確認されている²⁾。

表-2 質量最終変化率

供試体名	質量変化率 (%)
P-1	94.4
P-2	95.8
P-3	94.2
P-4	97.1
P-5	86.7
P-6	78.6

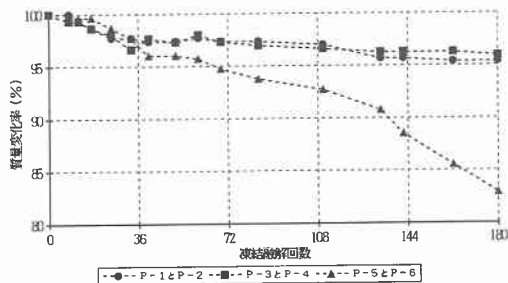


図-3 凍結融解回数と質量変化率の関係

3.1.2 超音波伝播速度の変化

超音波伝播速度変化率の側面方向を図-4、上下面方向を図-5に示す。補修した供試体P-3、P-4、P-5は供試体により多少のばらつきはあるが、凍結融解回数180で側面方向及び上面方向とも90%以上の結果を示し無補修のP-1、P-2及びP-6と比較しても、補修した供試体はほとんど劣化の傾向を示さなかった。

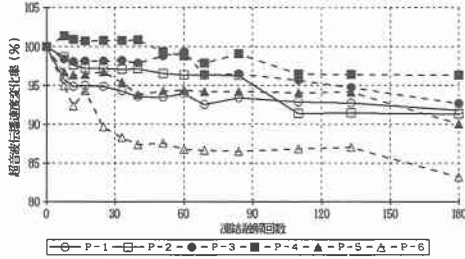


図-4 凍結融解数と超音波伝播速度変化率の関係
(側面方向)

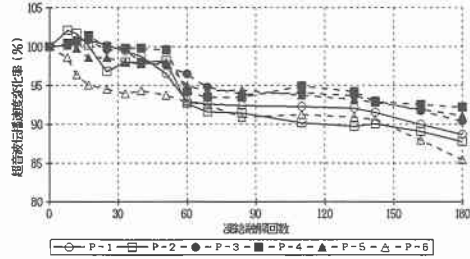


図-5 凍結融解数と超音波伝播速度変化率の関係
(上下面方向)

3.1.3 自然電極電位の結果

図-6にP-1、図-7にP-3の自然電位測定結果を示す。ひびわれ部分は上下鉄筋位置の2点の平均値をひびわれしていない部分は上下鉄筋位置の28点の平均値を各凍結融解測定サイクル毎に求めた。

当初は補修、無補修いずれの供試体も-300mV SCE以下で腐食の傾向を示していない。しかし、海水中に浸せきを継続すると図-6、図-7のようにひびわれ導入部分及び導入していない部分、補修及び未補修の部分とも-400mV SCE以下になり腐食の傾向を示し、長期になると腐食に対して苛酷な条件である。

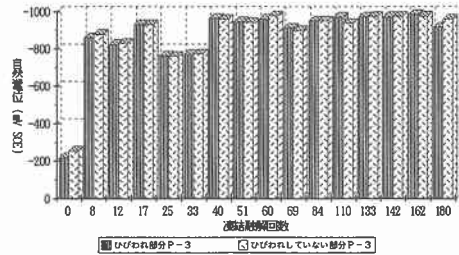


図-6 自然電位測定結果 (P-1)

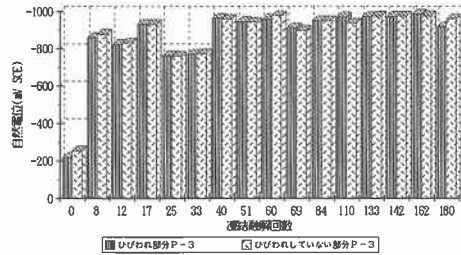


図-7 自然電位測定結果 (P-3)

3.1.4 ひびわれ追従性試験結果

ひびわれ追従試験結果を図-8～図-10に示す。

各供試体において、2.3.4に示した方法でボルトを締めて最大に入る曲げモーメントを導入すると無補修供試体は当然ながらゲージがすぐに破断したが、補修供試体は曲げモーメントの導入できる最大の大きさまで破断しなく、十分な耐力を示した。また、P-4(樹脂系)は歪が 2100×10^{-6} でも破断せず十分なひびわれ追従性を示した。

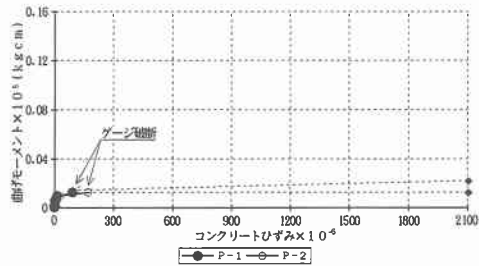


図-8 曲げモーメントと供試体中心引張側ひずみの関係(P-1とP-2)

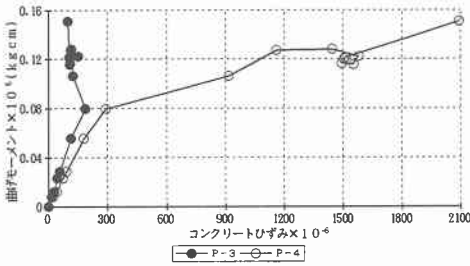


図-9 曲げモーメントと供試体中心引張側ひずみの関係(P-3とP-4)

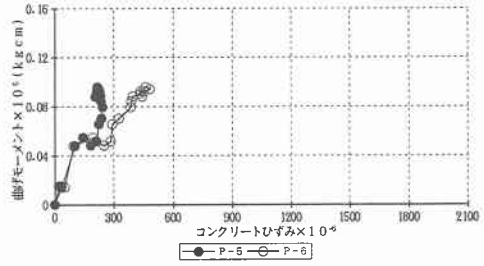


図-10 曲げモーメントと供試体中心引張側ひずみの関係(P-5とP-6)

3.1.5 鉄筋腐食面積の測定

鉄筋腐食面積率を図-11に示す。全体的に鉄筋腐食面積率は6%程度以内で少ない傾向を示し、特にひびわれを補修したP-3、P-4の供試体には、ほとんど錆が発生せず本実験の条件では各補修材は鉄筋の腐食防止にほぼ有効であることが確認できた。

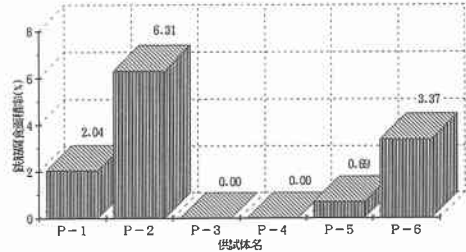


図-11 供試体と鉄筋腐食面積率の関係

3.1.6 塩含有量試験結果

塩含有量試験結果を図-12～図-17に示す。

ひびわれを導入している部分Bを各々の深さに対してひびわれを導入していない部分Aと比較してみると、P-3、P-4及びP-5の補修供試体はP-1、P-2の無補修供試体に対して、1、2層目はほぼ同程度の比率であるが、無補修供試体の3、4層目は2倍以上の多い結果を示している。補修供試体P-3とP-4とP-5は1～4層目まで最高で1.7倍である。また、無補修供試体P-6は1～4層目まで全て2倍以上を示した。

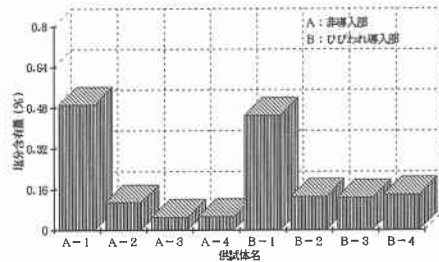


図-12 P-1 塩含有量試験結果

同一供試体のひびわれをしていない部分を1.0とした場合、供試体P-3とP-4とP-5の各部の比率の全平均値は0.946で塩含有量は少ない傾向を示し、補修による塩分の抑制効果が認められる。

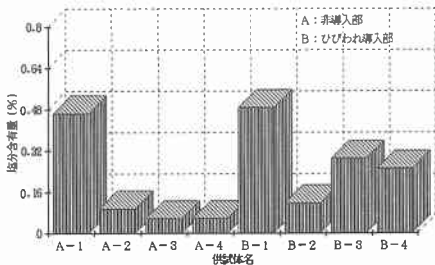


図-13 P-2 塩含有量試験結果

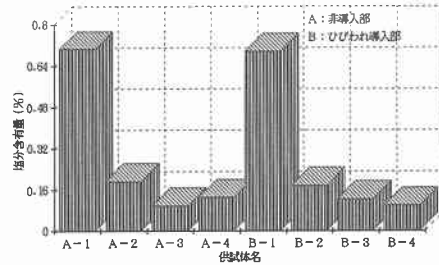


図-14 P-3 塩含有量試験結果

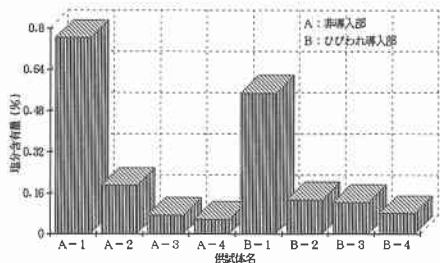


図-15 P-4 塩分含有量試験結果

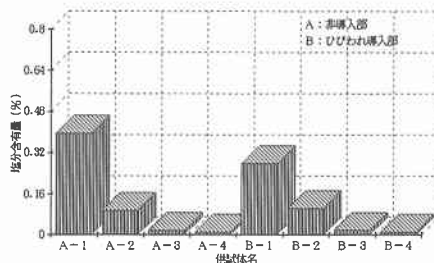


図-16 P-5 塩分含有量試験結果

3.2 考察

3.2.1 補修の性能評価

(1) 質量の変化と表面の観察

海水中の凍結融解試験条件のため供試体自体の表面劣化が激しく厳しい条件であることが認められる。

(2) 超音波伝播速度

図-4、図-5の超音波伝播速度の結果から補修供試体のP-3、P-4は側面方向と上面方向を比較すると差がないが無補修供試体のP-6では上下面方向より側面方向が低下し補修の有無による差がでている。

(3) 自然電極電位

補修及び無補修とも全般的に腐食の傾向を示す-400mV SCE以下の電位で、今後腐食する可能性がある。

(4) 補修材のひびわれ追随性試験

一般的には、歪が $1000 \sim 2000 \times 10^{-6}$ 以上にならないとコンクリートにはひびわれが生じないが補修供試体は補修位置にひびわれが生じない範囲の歪であり、凍結融解試験後各補修材ともひびわれの抑制効果が認められた。

(5) 鉄筋腐食面積

本試験の範囲では補修供試体の腐食面積は無補修供試体に比べ少ない傾向を示した。

(6) 塩分含有量

補修供試体はひびわれ部分からの塩分浸入の抑制効果が認められた。

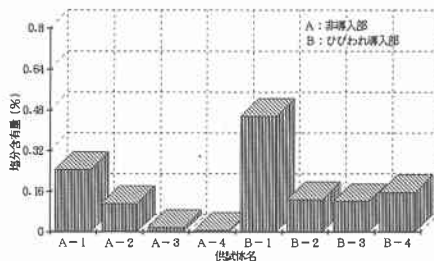


図-17 P-6 塩分含有量試験結果

3.2.2 総合的な評価と今後の課題

RCのひびわれに外部より多量の塩分が浸入する海水中で、凍結融解が作用する場合、本研究で使用した3種の補修材はいずれもコンクリートの各種の劣化を抑制できる傾向を示した。今後、さらに寒冷地海洋環境下の曝露供試体によってコンクリート構造物の補修材の性能が維持されるかどうか検討中である。

4 まとめ

寒冷地環境下のRCの補修材の性能評価に関する実験より、補修した供試体は実験に使用した補修材はいずれも海水中の凍結融解試験後もひびわれ補修部分は曲げ耐力対しても耐久性を有し塩分浸透に際しても抑制効果があった。

《謝辞》 本研究にあたり実験手法について北海道大学佐伯昇教授の御指導を受けた。また、北見工業大学猪狩技官、同大学院の田中氏、卒論生の米田、山田、佐藤、内林氏の御協力を得た。また、北海道開発局紋別港湾工事事務所の各位、(株)西村組の吉田、井上氏の御協力を得た。供試体の作成にあたり(株)日鉄セメント、(株)タチ、ショールトン建設(株)、(株)小野田セメントの各社の御協力を得た。ここに、感謝する。

(参考文献)1)日本コンクリート工学協会:硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法, 1984

2)桜井宏, 鮎田耕一, 岡田包儀, 田中純:第50回年次学術講演会講演概要集, 平成7年9月, PP268~269