

# 寒冷環境下における軽微なひび割れの早期補修による劣化進行抑制効果

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○内田 侑甫  
内藤 勲  
佐藤 義臣

寒冷環境下ではひび割れからの劣化進行が速いため、出来るだけ早期のひび割れ補修が劣化抑制に有効であるが、軽微なひび割れへの補修効果やその持続性は明らかになっていない。本研究では、軽微なひび割れを模擬した供試体を表面保護系の補修材で補修し、乾湿繰り返し作用や凍結融解作用を与えて早期補修による劣化進行抑制効果を検証した。その結果、ひび割れが閉塞して防水効果が高まる浸透性補修材が有効であることを確認した。

キーワード：早期補修、軽微なひび割れ、表面保護系の補修材、劣化進行抑制、浸透性補修材

## 1. はじめに

コンクリート構造物にひび割れが生じるとそのひび割れが劣化因子の侵入経路となり、コンクリート構造物の劣化が進み耐久性が低下する。そのため、ひび割れ注入工法やひび割れ充填工法等によってひび割れを補修している。補修の対象になるのは、一般に幅が0.2mm以上のひび割れであり、幅0.2mm未満の軽微なひび割れは経過観察となって補修されないことが多い<sup>1)</sup>。しかし、寒冷環境下にあるコンクリート構造物は、軽微なひび割れでも劣化進行が速いため、出来るだけ早期に補修することが有効とされている<sup>2)</sup>。幅0.2mm未満の軽微なひび割れの補修対策としてひび割れ被覆工法等はある<sup>3)</sup>が、対策効果やその持続性は明らかになっていない。

このような背景から本研究では、軽微なひび割れの早期補修による寒冷環境下にあるコンクリート構造物の長寿命化を目的に検討を行っている。本報告は、種々の表面保護系の補修材を簡易な方法でひび割れ補修した供試体に乾湿繰り返し作用や凍結融解作用を与え、早期補修による劣化進行抑制効果を検証した。

で作製したひび割れ供試体（以下、モルタル供試体）とコンクリートで作製したひび割れ供試体（以下、コンクリート供試体）をそれぞれ作製した。モルタル供試体は直径（塩ビ管の内径）83mm、高さ30mm、コンクリート供試体は直径（塩ビ管の内径）107mm、高さ100mmとした。なお、試験結果への影響を極力小さくするため、割裂で導入したひび割れがほぼ鉛直に1本となった供試体を選定して各種試験を実施した。

表-1 モルタルおよびコンクリート配合表

(a) モルタル配合表

セメントの種類	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			スランブフロー (cm)	空気量 (%)
		W	C	S		
普通ポルトランド	55	291	529	1587	22.8	6.0

(b) コンクリート配合表

セメントの種類	W/C (%)	AE剤の有無	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				スランブ (cm)	空気量 (%)
			W	C	S	G		
普通ポルトランド	55	有り	155	282	845	1040	13.5	6.1

## 2. 試験概要

### (1) 供試体の作製方法

供試体の作製方法は、塩化ビニル管（以下、塩ビ管）を型枠の代わりとした円柱供試体（水中養生28日間）を表-1に示す配合のモルタルとコンクリートで作製し、その供試体を割裂載荷する方法（図-1）でひび割れ幅約0.1mm程度のひび割れを導入<sup>4)</sup>した。供試体はモルタル

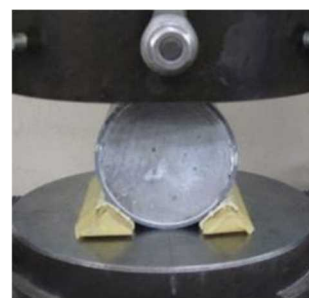


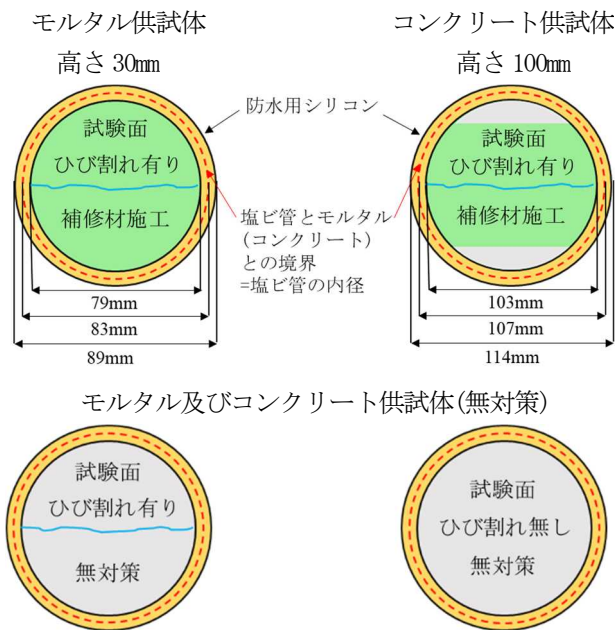
図-1 割裂載荷の様子

## (2) 補修材

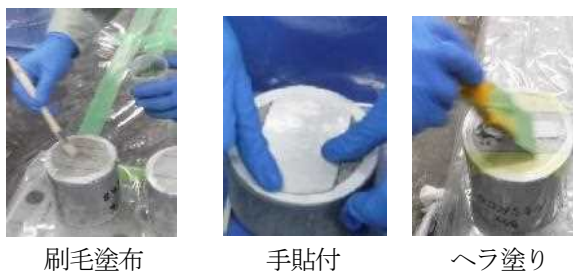
試験に使用した各補修材の主な諸元を表-2に示す。補修材AとBはエポキシ樹脂系の浸透性補修材、補修材CとDは表面含浸材であり、これらは主に表面保護に用いられる。補修材Eは防水用の補修テープ、補修材Fはひび割れ注入用の仮設のシール材であり、本来はコンクリートのひび割れを補修する材料ではないが、施工が簡易で防水効果が期待できることから今回試用した。なお、この塩ビ管の円形供試体は、モルタルもしくはコンクリートと塩ビ管の境界から試験水が浸透するため、試験結果に影響がでないように、試験面の境界にシリコンで防水加工を施した。

表-2 各補修材の主な諸元

補修材	使用した補修材の主成分	施工方法	単位施工量	主な特徴や用途
A	エポキシ樹脂	刷毛塗布	300g/m <sup>2</sup>	粘度80mPa・S
B	エポキシ樹脂		150g/m <sup>2</sup>	粘度7mPa・S
C	けい酸リチウム		400g/m <sup>2</sup>	浸透深さ3mm
D	シラン・シロキサン		200g/m <sup>2</sup>	浸透深さ4~7mm
E	ブチルゴム+アルミ	手貼付	幅50mm 厚0.6mm	防水用テープ
F	変性シリコーン	へら塗り	1mm厚塗り	注入用シール材
G	ひび割れあり・無対策			
H	ひび割れ無し			



(a) 補修供試体の概要図



(b) 補修材の施工状況

図-2 補修供試体の概要図と施工状況

図-2に、各補修材を施工した供試体（以下、補修供試体）の概要図と施工状況を示す。補修材A~Dは刷毛塗布、補修材Eは手貼付、補修材Fはへら塗りで施工を行った。また、補修材の施工範囲は、モルタル供試体は試験面全面、コンクリート供試体はひび割れを中心に幅約50mmの範囲とした。なお、補修材の施工は20°Cの恒温室内で実施し、施工後は同じ環境状況で7日間の静置養生を行った。

## (3) 凍結融解試験

補修後の耐凍害性を評価するため、モルタル供試体を用いた凍結融解試験を実施した。凍結融解試験はCDF法で実施した（以下、CDF試験）。CDF試験は、塩化物イオン濃度3%の試験水にモルタル供試体の試験面を深さ5mm浸漬させた状態で一面の凍結融解試験を実施した（図-3参照）。凍結融解サイクルは、RILEM<sup>®</sup>に準じて、10°C/hの低速で4時間冷却して-20°Cで3時間保持し、その後4時間加熱して+20°Cで1時間保持する12時間を1サイクルとした。試験は56サイクルまで実施し、測定は約7サイクル毎に補修供試体の剥落片の質量（以下、スケールン質量）と補修供試体の質量を測定した。なお、補修供試体の質量は、試験水に浸漬させる前の補修供試体の質量に対するサイクル毎の補修供試体の質量増減の割合から質量増減率を求めた。

## (4) 乾湿繰り返し試験

補修後の乾湿繰り返し作用に対する耐久性を評価するため、コンクリート供試体を用いた乾湿繰り返し試験を実施した。乾湿繰り返し試験は、CDF試験と同様に、コンクリート供試体の試験面を深さ5mmまで塩化物イオン濃度3%の試験水に浸漬させて20°Cの恒温室内で8時間静置、その後70°C

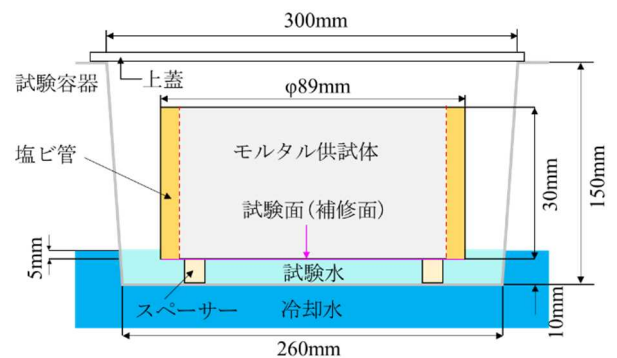


図-3 凍結融解試験 (CDF 試験) の概要図



浸漬の様子

乾燥の様子

図-4 乾湿繰り返し試験の様子

に設定した乾燥機で40時間乾燥させる工程を1サイクルとして130サイクルまで実施した(図4)。

測定は、約7サイクル毎に乾燥終了後の供試体質量を測定し、0サイクルに対する質量増減量の算出と目視による試験面の劣化進行による経時変化を確認した。なお、0サイクルの供試体質量は、20°Cの恒温室で7日間静置後に測定を行った。また、130サイクル終了後に100°Cに設定した乾燥機で2週間乾燥させ、供試体を絶乾させた状態での質量増減量と試験面の目視観察も行った。

### 3. 試験結果

#### (1) 凍結融解試験

凍結融解サイクル数の増加に伴うスケーリング量の累計と質量増減率推移を図5、図6に示す。また、各補修供試体の凍結融解56サイクル後の試験面の状態を図7に示す。ひび割れ有り・無対策のGは累計のスケーリング量と質量の減少が一番大きくなった。試験面を見ると、ひび割れを中心に大きく欠損していることから、軽微なひび割れ

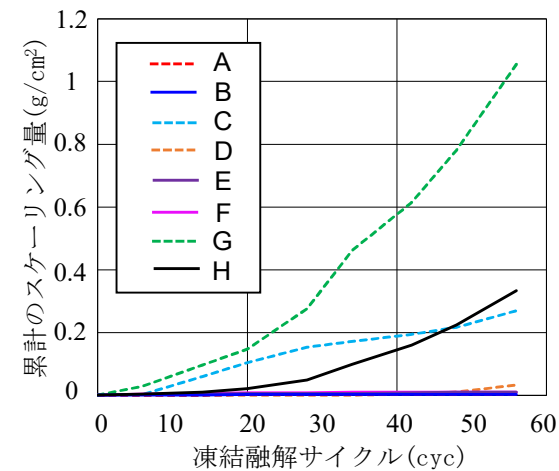


図-5 累計のスケーリング量

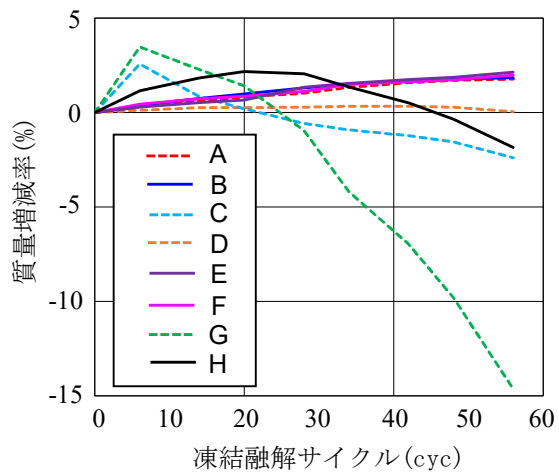


図-6 質量増減率

でも無対策では塩水の凍結融解作用による劣化は大きく進展することが確認できる。スケーリング量と質量減少率がGに次いで大きい補修材Cは、ひび割れ無しのHと同程度の結果となった。試験面を確認すると、Hよりも補修材Cの方が欠損が少ないことから、補修材Cの表面保護効果はある程度期待できると考えられる。その他の補修材A、B、D、E、Fはスケーリングがほぼ発生していないことから、これらの補修材は耐凍害性の向上に非常に有効であると言える。なお、これらの補修材の質量が増加傾向にあるのは、境界部の保護シリコンの付着が凍結融解作用で弱まり、その隙間から徐々に浸透した試験水の質量分が増加したためと推測する。

#### (2) 乾湿繰り返し試験

乾湿繰り返し試験におけるサイクル数の増加に伴う質量増減量を図8に示す。また、試験面の劣化進行による経時変化(試験開始前、中間65サイクル、絶乾終了後)

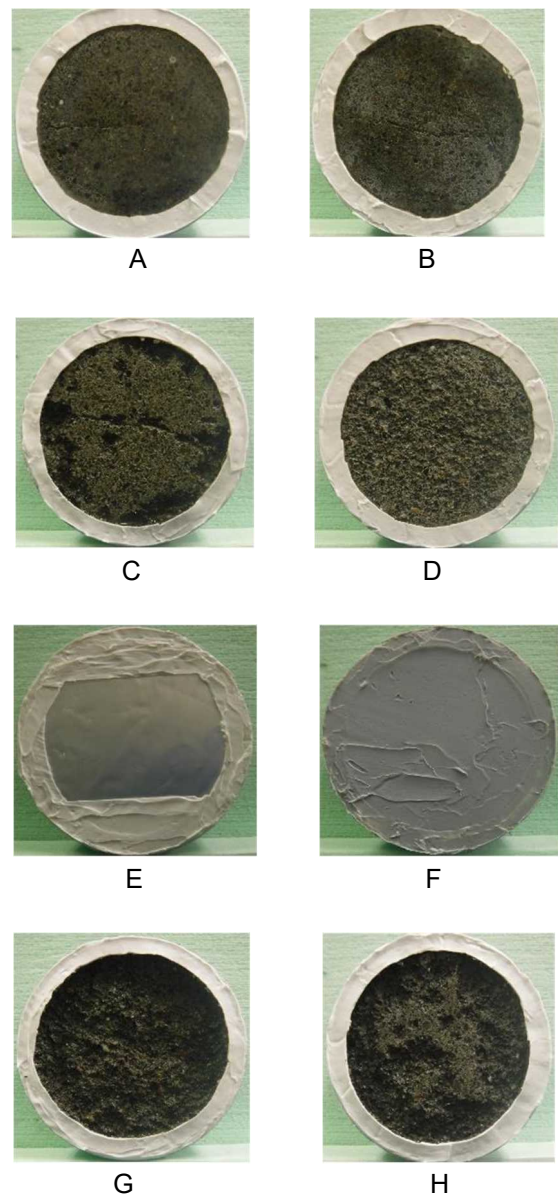


図-7 凍結融解 56 サイクル後の試験面

を図-9に示す。コンクリートの劣化が進んで欠損等が発生すると質量は減少するが、今回の乾湿繰り返し試験では、最初に一旦質量が減少してからはサイクル途中から130サイクルまでほとんどのケースで質量が増加する傾向にあった。

最初の質量減少は、試験開始時の浸漬工程においては試験水の浸透量がまだ少ない状態であり、乾燥工程で多くの内部水分が蒸発したためと考えられる。その後、徐々に試験水の浸透量が増えて、乾燥工程で乾

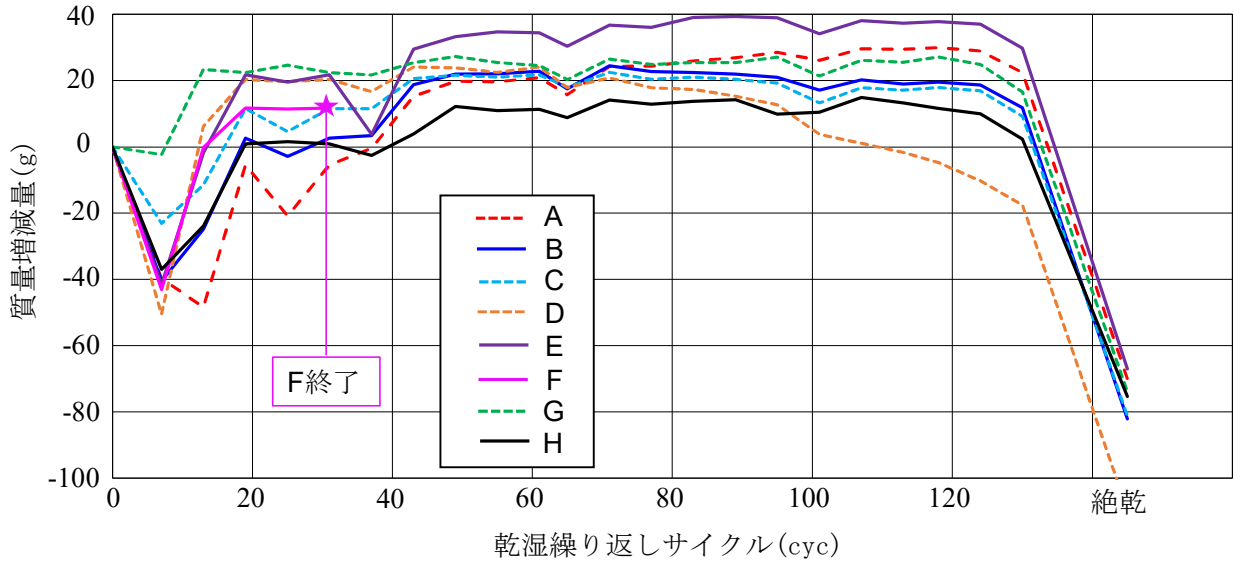


図-8 質量増減量

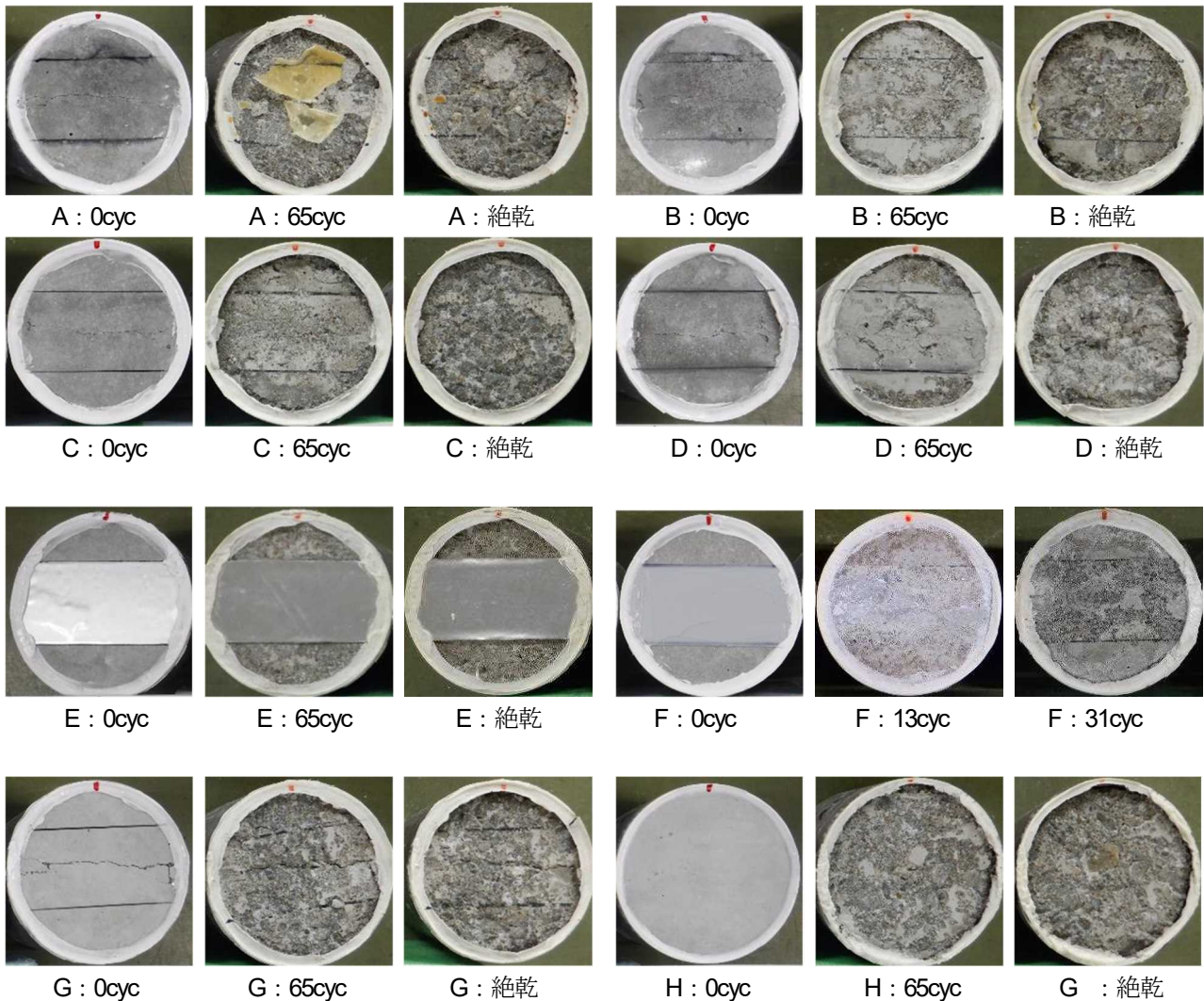


図-9 乾湿繰り返し試験の試験面の経時変化の例

燥しきれずに内部に試験水が残る状態になったためと推測する。なお、試験面が徐々に劣化してきた供試体もあったが、各ケースにおいて質量増減量の変化に大きな違いは確認されなかった。

目視観察では、補修材D、ひび割れ有り・無対策G、ひび割れ無しHの試験面に劣化による欠損が確認できた。また、補修材Dは100サイクル前後から劣化が進行し始めて徐々に質量が減少している。補修材Fは30サイクル付近で補修材の付着が弱まり剥がれてしまったことから試験を終了している。これらの結果から、補修材DとFは乾湿繰り返し作用に対する補修効果は期待できないと言える。

一方で、それ以外の補修材では、多少の欠損は見られても劣化はさほど進行していない。例えば補修材Aは、表面の補修材は徐々に剥がれているが、剥がれた後もコンクリート表面の劣化は進展していない。これは、表面から内部に浸透して硬化した補修材Aの劣化抑制効果が持続しているためである。このことから、凍結融解試験結果と同様に、乾湿繰り返し試験においても補修材による劣化抑制効果を確認できたとと言える。

#### 4. 早期補修による劣化進行抑制効果に関する考察

各補修材の耐久性を総合的に評価するため、凍結融解試験と乾湿繰り返し試験の結果から、軽微なひび割れへの早期補修の有効性の判定を示したものを図-10に示す。凍結融解試験の結果はひび割れ無しHのスケーリング量および質量増減率（56サイクル時）を基準値とし、基準値に対する各ケースの累計のスケーリング量の増減量と質量増減率の増減量の関係を示した。また、乾湿繰り返し試験の結果は質量増減量と試験面の状態から耐久性の向上効果に対して「有効」、「ある程度期待」、「劣化」の3つに分類して凍結融解試験結果の関係図に併せて示した。

耐凍害性の向上に有効な範囲には、補修材Cを除いたすべての補修材が位置している。乾湿繰り返し作用に対しては、欠損がほとんどない補修材AとBは「有効」、多少の欠損が見られた補修材CとEは「ある程度期待」、補修材DとFは「劣化」となった。このような耐久性評価の判定図から補修材Cは凍害の厳しい環境、補修材Fは乾湿の大きい環境への適用はそれぞれ難しいと判断できる。また、浸透性補修材であるエポキシ樹脂系の補修材AとBは、スケーリング量が最も小さく、乾湿繰り返し試験でも他の補修材と比べて試験面の劣化が非常に少なかったことから、これらの補修材を用いた早期補修では、微細ひび割れの劣化進行抑制に大きな効果が得られると言える。以上の結果から、軽微なひび割れを早期に補修することで、厳しい環境等における劣化進行抑制に効果があることを明らかにした。

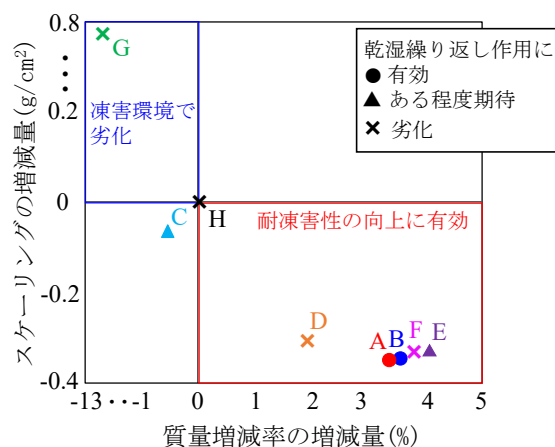


図-10 試験結果のまとめ

#### 5. まとめ

本研究では、軽微なひび割れを早期補修することによる劣化進行抑制効果の検証を目的に、種々の補修材を用いた簡易な補修を行った供試体による凍結融解試験と乾湿繰り返し試験を実施した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 厳しい劣化環境下では軽微なひび割れでも劣化が進行し耐久性が低下することを確認した。
- (2) 環境条件に適した補修材を用いることで耐凍害性や乾湿繰り返し作用に対する耐久性の向上が可能である。
- (3) 樹脂系の浸透性補修材は、凍結融解試験と乾湿繰り返し試験の両方で補修効果が大きいことから、厳しい環境での早期補修に適している。

今後、軽微なひび割れに対する早期補修の実用化に向けて、新たな補修材での検討および実環境における暴露試験や試験施工等による耐久性の検証を行っていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 土木研究所：コンクリートひび割れ部の塩分浸透性と鋼材腐食に関する暴露試験，土木研究所資料，第4130号，pp.1-2，2009.1.
- 2) 渡辺博志：コンクリート構造物の信頼性の向上-ひび割れの影響-，土木技術資料，平成24年1月号，pp.42-45，2012.1
- 3) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2013-，p.126，2013.4
- 4) 山本昌宏，谷村成，藤井隆史，安藤尚，綾野克紀：微細なひび割れを持つコンクリート試験体の作製方法とそれを用いたひび割れ補修材の性能確認試験方法に関する研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第12巻，pp.467-472，2012.11
- 5) Jochen Stark, Brend Wicht (訳：太田利隆ほか)：コンクリートの耐久性，第2版，社団法人セメント協会，pp.200-203，2003.8