

論文 樹脂モルタル補修材によるコンクリート構造物の耐久性向上に関する研究

内田 真未*1・西出 靖*2・野嶋 潤一郎*3・溝淵 利明*4

要旨：近年、構造物の劣化が顕在化してきており、既設・新設ともにコンクリート構造物の耐久性を向上させるニーズが高まっている。本研究では、エポキシ樹脂と特殊骨材を混合した高弾性高強度樹脂モルタル補修材を用い、コンクリート構造物の耐久性、収縮特性に対する向上効果について検討した。その結果、被覆材のち密な構造性および母材コンクリートとの一体性によって、温度変化に伴う追従性が高く、耐凍害性、遮塩性、耐酸性、収縮低減に対する効果が確認された。

キーワード：表面被覆材、樹脂モルタル、耐久性、凍害、塩害、乾燥収縮、化学的浸食

1. はじめに

高度経済成長期に大量に建設された我が国の社会インフラは、老朽化が進んでおり、劣化が顕在化してきている。既設構造物の補修・補強による維持管理を強化し、供用年限を伸延させることが必要不可欠となっている。一方、新設構造物においても、ライフサイクルコストの低減を図るため、当初から高耐久性が要求されている。

そこで、既設・新設ともにコンクリート構造物の耐久性を向上させる手段として、コンクリート表面に被覆材による表面保護を行い、外的劣化要因の侵入を防止・抑制する手法(表面被覆工法)がある。表面被覆工法によるコンクリート構造物の劣化抑制効果は、表面の被覆が外来の二酸化炭素、酸素、塩化物イオン、水分、酸性物質、その他の劣化因子の侵入を防止または抑制する効果によってもたらされる。しかしながら、母材コンクリートの温度変化に伴う変位に追従できずに表面被覆材に割れや剥れが生じてしまう場合がある。このため、表面被覆工法による劣化抑制効果は、被覆材自身の品質以外にもコンクリートとの一体性などによって実性能が左右されることになる。

本研究では、従来から断面修復材料として利用されているエポキシ樹脂に特殊骨材を混合した高弾性高強度樹脂モルタルを用い、耐凍害性、遮塩性、耐酸性、収縮特性に対する効果について検討した。

2. 実験概要

本研究では、樹脂モルタルを表面被覆材として用い、凍害と塩害による複合劣化、耐酸性、乾燥収縮に対する抑制効果について検討を行った。本研究で実施した試験

項目および準拠した規格を表-1に示す。

2. 1 表面被覆材の概要

本研究で使用した表面被覆材は、エポキシ樹脂と特殊骨材を混合した高弾性高強度樹脂モルタルである。表-2に諸物性を示す。なお、骨材は、二酸化ケイ素(SiO₂)75%、硫酸バリウム (BaSO₄)25%の比率で混合している。

表-1 本研究の試験項目

試験項目	規格
凍害・塩害の複合劣化	凍結融解試験(JIS A 1148)に準拠し、凍結水を塩水(NaCl濃度3%)とした
	塩化物イオン量測定(JIS A 1154)
耐酸性	耐酸性試験(JSWA 断面修復材規格)
乾燥収縮	被覆材料供試体
	長さ変化測定(JIS A 1129-3)
	コンクリート供試体
	長さ変化測定(JIS A 1129-2)

表-2 使用した被覆材の諸物性

性状	主剤	硬化剤	骨材	試験方法
配合比(重量比)	主剤/硬化剤/骨材=100/20/600			-
粘度(20℃)	15000 mPa·s	40 mPa·s	-	JIS K 6833
	5000 mPa·s			
比重(20℃)	1.19	1.06	-	JIS K 6833
硬化物比重	2.27			JIS K 7112
圧縮強度	113.5 N/mm ²			JIS K 7208
圧縮弾性係数	1.43 × 10 ⁴ N/mm ²			JIS K 7208
引張強度	21.1 N/mm ²			JIS K 7113
せん断接着強度	18.5 N/mm ²			JIS K 6850
硬化収縮率	0.01%			JIS K 416-2004
熱膨張係数	1.86 × 10 ⁻⁵ /℃			JIS K 416-2004

*1 法政大学大学院デザイン工学研究科都市環境デザイン工学専攻 修士課程 (学生会員)

*2 日米レジン株式会社 (正会員)

*3 法政大学大学院デザイン工学研究科都市環境デザイン工学専攻 博士課程 (正会員)

*4 法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科教授 博士(工学) (正会員)

2. 2 凍害および塩害の複合劣化に対する検討

本検討では、被覆厚さの違いが塩化物イオンの侵入と凍結融解作用の複合要因による劣化に対する抑制効果について検討を行った。

(1) 供試体概要

母材コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比 60%の配合とした。本検討では、供試体全面を被覆し、被覆厚さによる影響について検討を行った。なお、凍結融解試験中に容器と供試体間が所定の厚さとなるようにするため、被覆後の仕上げ寸法がすべて同一となるように母材コンクリートの寸法を調節した。表-3 に供試体概要を示す。

(2) 試験方法

本試験では、凍結融解試験法(JIS A 1148)に準拠し、凍結水を塩水(NaCl 濃度 3%)に置き換え、300 サイクルまで試験を実施した。30 サイクル終了毎に各供試体の動弾性係数および質量測定、写真撮影による外観観察を行った。また、150 および 300 サイクル終了後に JIS A 1154 に準拠し、塩化物イオン量測定を行った。試料は、図-1 に示すように供試体長さの中央から 30mm 区間において、表面から 10mm 毎に採取し、各層に含まれる塩化物イオン量を測定した。その際に、2 方向からの塩分浸透量を確認するため、測定対象外の 2 方向における表面から 10mm 層は除去した。

表-3 供試体概要(凍害・塩害の複合劣化)

被覆厚さ(mm)	母材コンクリート寸法(mm)	仕上げ寸法(mm)
0	100×100×400	100×100×400
3	94×94×394	
6	88×88×388	
10	80×80×380	

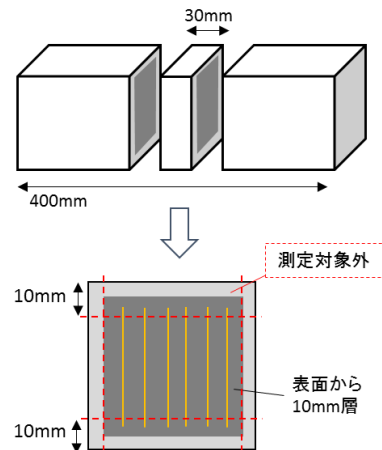


図-1 塩化物イオン量測定対象の概要

表-4 供試体概要(耐酸性)

塗装厚さ(mm)	母材コンクリート寸法(mm)	仕上げ寸法(mm)
0	100×100×200	
10	100×100×200	120×120×240

2. 3 耐酸性に対する検討

本検討では、表面被覆の有無による、耐酸性に対する抑制効果について検討を行った。

(1) 供試体概要

母材コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比 55%の配合とした。本検討では、供試体全面に 10mm 厚さで被覆した。表-4 に供試体概要を示す。

(2) 試験方法

本試験は、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル¹⁾における断面修復用モルタルに関する品質試験方法に準拠して行った。供試体を 5% 硫酸水溶液に浸漬し、質量測定および写真撮影による外観観察を行った。なお、浸漬後 28 日間は 7 日毎に試験液全量取り替え、以降は 14 日毎に取り換えおよび測定を行った。浸漬の様子を写真-1 に示す。

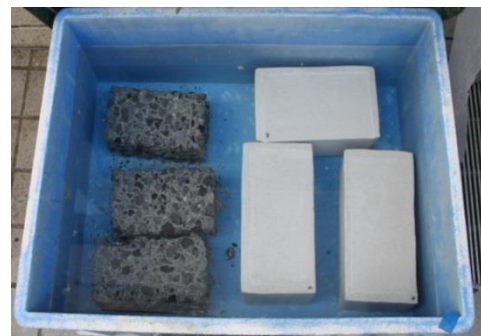


写真-1 浸漬の様子(浸漬後 112 日経過)



写真-2 供試体概要(乾燥収縮-被覆材料供試体)

2. 4 乾燥収縮に対する検討

本検討では、被覆材料で作製した供試体により被覆材料自体の収縮特性について実験を行った。次に、コンクリートに表面被覆した場合における表面被覆の有無および被覆厚さによる乾燥収縮に対する低減効果について検討を行った。

(1) 供試体概要

被覆材料供試体による検討では、40×40×160mmの鋼製型枠にあらかじめ両端面中央にゲージプラグを設置し、モルタルもしくは表面被覆材料を流し込み、供試体を作製した。モルタルは普通ポルトランドセメントを用い、水：セメント：砂=0.5：1：2の配合とした。また、供試体は打込み後7日間の水中養生を行った後、試験を開始した。写真-2に供試体概要を示す。

コンクリート被覆による検討では、母材コンクリートは普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比60%の配合とした。本検討では、供試体全面を被覆し、被覆厚さによる影響について検討した。また、供試体は同一条件とするため、被覆の有無にかかわらず被覆後7日間の水中養生、1日間の気乾養生を行い、貼付け型のゲージプラグを供試体の中心線上で基長200mmとなるように接着剤を用いて貼付けした。表-5および写真-3に供試体概要を示す。

(2) 試験方法

被覆材料供試体による検討では、長さ変化測定(JIS A 1129-2)に準拠し、コンタクトゲージ法による測定を行った。

コンクリートによる検討では、長さ変化測定(JIS A 1129-2)に準拠しダイヤルゲージ法による測定を行った。温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室で養生し、水中養生直後を測定材齢1日目とし、7日毎に長さ変化および質量測定を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 凍害および塩害の複合劣化に対する検討

(1) 質量変化

本試験における各供試体の質量変化を図-2に示す。表面被覆を施した供試体に質量変化は見られなかった。また、被覆厚さ3mmの供試体においても変動はなく、被覆厚さによる差異は確認できなかった。

表-5 供試体概要(乾燥収縮-コンクリート)

被覆厚さ(mm)	母材コンクリート寸法(mm)	仕上げ寸法(mm)
0	100×100×400	
3	100×100×400	106×106×406
6	100×100×400	112×112×412
10	100×100×400	120×120×420

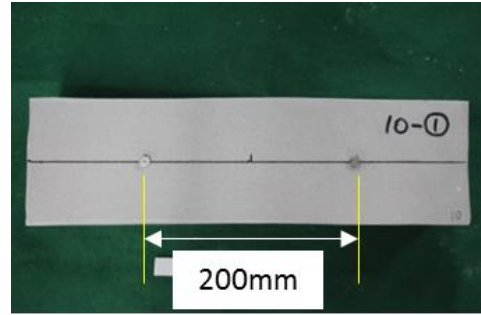


写真-3 供試体概要(乾燥収縮-コンクリート)

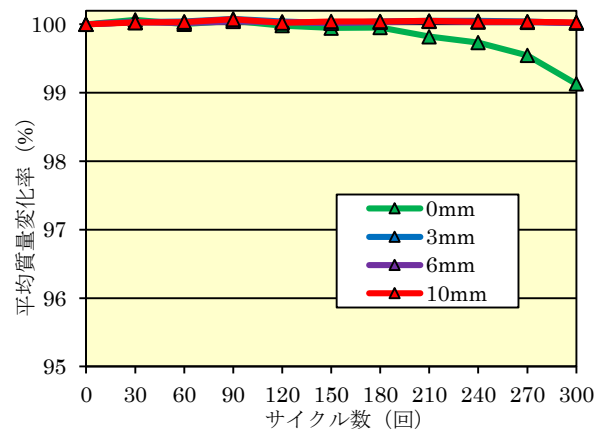


図-2 各供試体の平均質量変化率

表-6 外観変化(凍害および塩害の複合劣化)

被覆厚さ	試験前	150サイクル後	300サイクル後
0mm			
3mm			

(2) 外観変化

表-6は、本試験における被覆厚さ0mmおよび3mm供試体の外観変化を示す。被覆厚さ0mmの供試体では、スケーリングによる変状が確認されたが、表面被覆を施した供試体は被覆厚さに関わらず、変状は見られなかった。また、写真-4に300サイクル終了後の供試体断面を示す。接着面に浮き等は見られなかった。

表-7および写真-5は、参考として被覆厚さ10mmで供試体の上面と端面の片方に被覆を施し、凍結融解試験を行った供試体の外観変化である。母材コンクリートのスケーリングが進行し、セメントペーストや骨材が剥離したにもかかわらず、被覆材料の剥れや浮きは見られず、被覆材料の耐凍害性および母材コンクリートとの付着性の高さを確認できた。

(3) 相対動弾性係数

図-3に各供試体の相対動弾性係数を示す。表面被覆の有無に関係なく、相対動弾性係数が80%以上となり、凍結融解に対する抵抗性に大きな差異は確認できなかった。この原因として、既往の研究^{2)~4)}より、塩化物イオンの存在により、水が凍結する空隙径が小さくなること、また浸透圧の増加が起こったためではないかと考えられる。

(4) 塩化物イオン量測定

図-4に300サイクル終了後の塩化物イオン量分布を示す。全体的に、塩化物イオンの浸透量は少ないものの、表面被覆を施すことで表層0~1cmにおいて塩化物イオン量の浸透量を1/3以上抑制していることが確認できた。

以上の結果より、本研究で使用した表面被覆材により、相対動弾性係数に有効な差異はみられなかったものの、外観や塩化物イオン浸透に対し、凍害および塩害の複合劣化に対する抑制効果が確認された。これは、写真-4に示すように、被覆材料のち密な構造および母材コンクリートとの付着(強度)の強さにより、劣化促進環境下においても外部からの水や塩化物イオンの侵入を抑制できたためと考えられる。

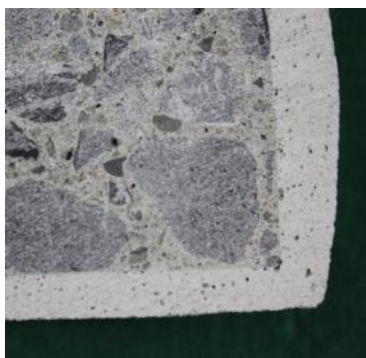


写真-4 300サイクル終了後断面(被覆厚さ10mm)

表-7 半面被覆供試体の外観変化

被覆厚さ	試験前	300サイクル後
10mm		



写真-5 半面被覆供試体 300サイクル後の様子

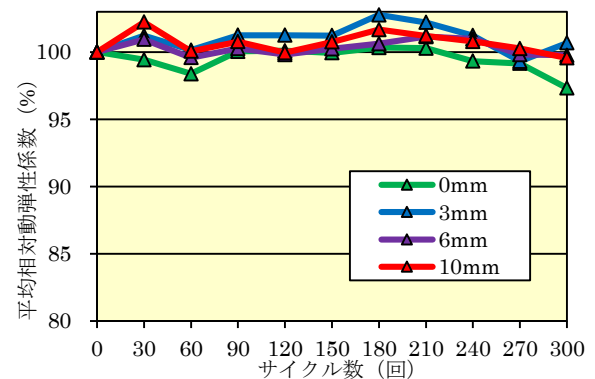


図-3 各供試体の平均相対動弾性係数

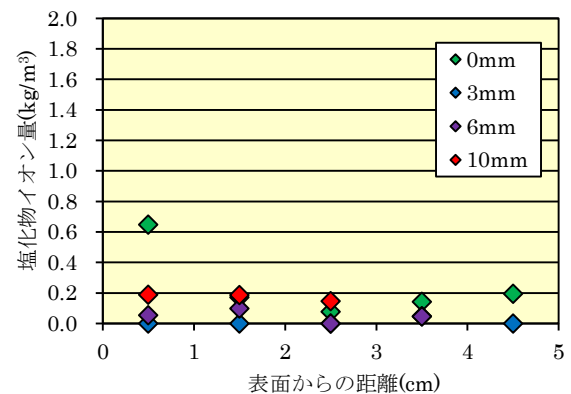

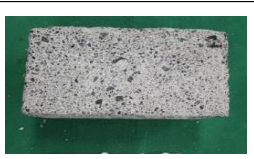
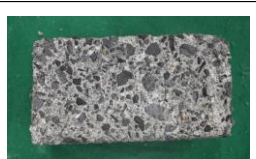
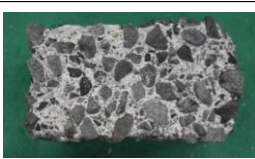



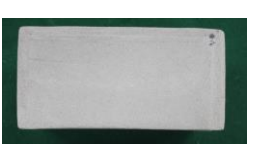


図-4 300サイクル終了後の塩化物イオン量分布

表-7 外観変化(耐酸性)

被覆厚さ	試験前	7日間浸漬後	28日間浸漬後	126日間浸漬後
0mm				
10mm				

3. 2 耐酸性に対する検討

(1) 質量変化率

図-5 に各供試体の質量変化率を示す。被覆厚さ 0mm の供試体は浸漬日数の経過に伴い、質量低下が大きくなる傾向を確認した。一方、被覆厚さ 10mm の供試体において、質量の低下は見られなかった。また、今回適用した規格では補修材料の品質として 28 日間浸漬時の質量変化率が 90%以内であるとなっており、この規格の条件を十分満足する結果となった。

(2) 外観変化

表-7 に各供試体の外観変化を示す。被覆厚さ 0mm の供試体は、浸漬日数が経過するにつれ、表面からセメントペースト分がなくなって骨材が露出し、一部剥離している箇所も確認できた。一方、被覆厚さ 10mm の供試体は特に変状は見られなかった。

以上の結果より、本研究で使用した表面被覆材により、耐酸性に対する効果があることを確認した。

3. 3 乾燥収縮に対する検討

(1) 被覆材料供試体による検討

各供試体の質量変化率を図-6 に示す。モルタル供試体は、材齢の経過とともに質量の低下が大きくなるのに対して、被覆材料供試体は質量の低下がほとんどみられなかった。

図-7 に各供試体の長さ変化率を示す。モルタル供試体は、材齢の経過とともに長さ変化の割合率大きくなるのに対して被覆材料供試体は特に大きな変化がみられなかった。

(2) コンクリート供試体による検討

各供試体の質量変化率を図-8 に示す。被覆厚さ 0mm の供試体は、材齢の経過とともに質量の低下が大きくなり、表面被覆を施した供試体は、被覆厚さに関わらず質量の低下はほとんどみられなかった。

図-9 に各供試体の長さ変化率を示す。被覆厚さ 0mm の供試体は、質量変化と同様に材齢の経過とともに長さ変化率が小さくなる結果となった。一方、表面被覆を施

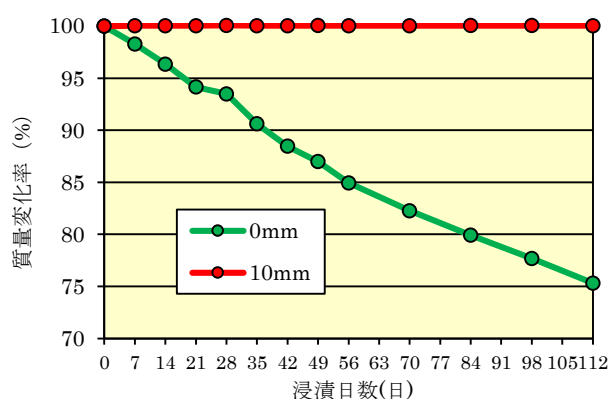


図-5 各供試体の平均質量変化率(耐酸性)

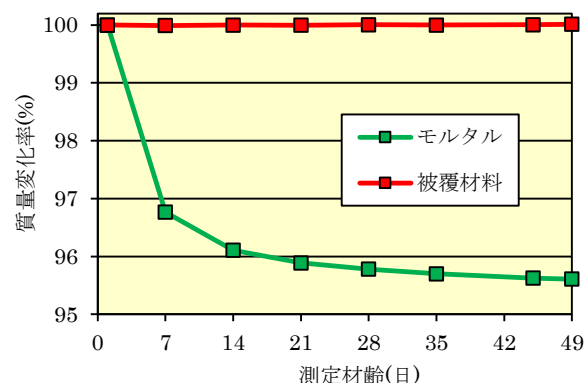


図-6 各供試体の平均質量変化率(被覆材料供試体)

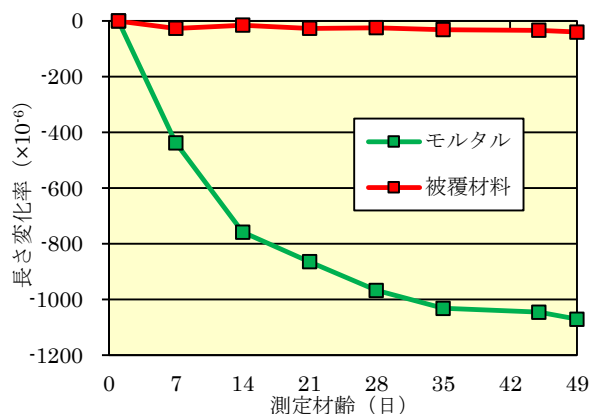


図-7 各供試体の平均長さ変化率(被覆材料供試体)

した供試体は長さ変化率 $0 \sim \pm 50 \times 10^{-6}$ 程度であり、長さ変化率に特に大きな変化はみられなかった。

以上の結果より、本研究で使用した表面被覆材料自体の収縮性が極めて小さいことが確認された。また、コンクリート供試体に表面被覆材として使用した場合において、母材コンクリートの乾燥収縮を低減させる効果があると思われる。これは、表面被覆材料のち密さにより、母材コンクリート内部からの水分逸散を抑制することができたためと考えられる。また、母材コンクリートと表面被覆材が一体化しており、被覆材料にひび割れ等の変状は現状においてみられなかった。

また、樹脂モルタルを表面被覆材料として用い、凍害と塩害による複合劣化、耐酸性、乾燥収縮に対する抑制効果をレーダーチャートとして図-10 に示す。

4. まとめ

本検討での条件のもとで得られた結果を以下に示す。

(1) 凍害および塩害の複合劣化に対しては、相対動弾性係数に有効な差異はみられなかったものの、外観や塩化物イオン浸透に対し、抑制効果を確認した。なお、表面被覆を施した場合、表層 0~1cm において塩化物イオン量の浸透量を 65%程度抑制していることが確認された。

(2) 耐酸性に対しては、表面被覆を施した供試体は、外観変状および質量の低下が現状で見られず、耐酸性に対する抑制効果が高いといえる。

(3) 乾燥収縮に対しては、表面被覆を施した供試体は質量変化および長さ変化に特に大きな変化が現状で見られず、乾燥収縮に対して抑制効果があるといえる。

本研究で使用した表面被覆材料は、熱膨張係数がコンクリートの2倍ほどであるにもかかわらず、母材コンクリートとの一体性が高く、ち密な構造であることから、被覆材による遮へい効果が保たれ、上記に挙げた各種劣化要因に対する抑制効果があったと思われる。本研究では、被覆厚さ 3mm においても有意な結果となったが、実構造物においては、塗残し等による施工不良を考慮し、被覆厚さ 5mm 程度が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル 平成 24 年 4 月
- 2) 佐伯昇, 藤田嘉夫: 寒冷地における海岸環境下のコンクリート, コンクリート工学, Vol.25, No.4, 1987

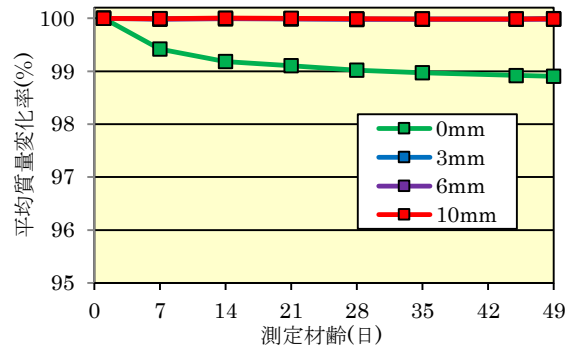


図-8 各供試体の平均質量変化率(コンクリート)

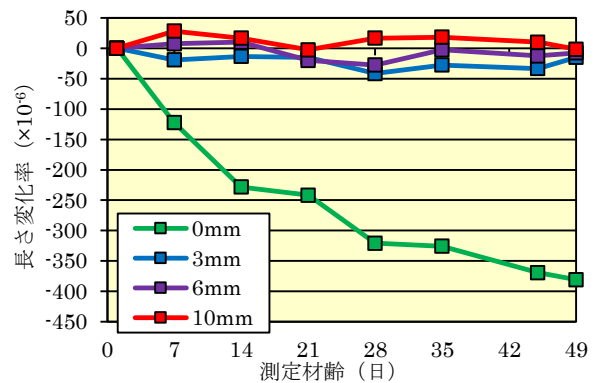


図-9 各供試体の平均長さ変化量(コンクリート)

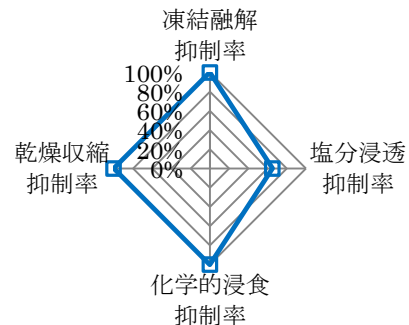


図-10 各劣化の抑制効果の総合評価

- 3) 月永洋一, 庄谷征美, 笠井芳夫: 凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング性状とその評価に関する基礎的研究, コンクリート工学論文集 第 8 号, 第 1 巻, 1997
- 4) 月永洋一, 庄谷征美, 原忠勝: 凍結防止剤の影響を受けるコンクリートの凍害劣化に関する基礎的研究, JCI 融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会論文集, 1999