

—結晶増殖材を配合したセメント系補修材について—

古住光正^{※1)} 須藤 武^{※2)} 阿部正良^{※1)}
 藤原忠司^{※1)} 大塚尚寛^{※1)}

1. はじめに

筆者らは、コンクリート構造物のひび割れ補修に関する基礎的な研究として、(1)新しい補修方法としての真空注入方式を提案し、(2)同方式で用いる新しいセメント系補修材の開発について検討してきた。そのうち、前報では、真空注入方式の実用性の可否について報告した¹⁾。引き続き、本報では、セメント系補修材について検討した結果を報告する。

一般に、コンクリートのひび割れ補修には、レジンモルタル、エポキシ樹脂のような樹脂系有機質材料や、ポリマーセメントスラリー、ポリマーセメントペースト、ポリマーセメントモルタルのようなセメント系無機質材料が用いられている。このうち、前者は、比較的短時間で強い付着強度が得られることから、多くの現場で用いられてきた。しかし樹脂系補修材は、コンクリートとの経年劣化が異なるため、二次劣化を起こし易く、また、有機材料の溶出なども懸念される。一方、後者は、付着強度は劣るものの、比較的安価であり、環境に優しい材料であるため、今後その使用頻度は増大すると思われる。

新しいセメント系補修材の検討においては、従来のものに比べ、力学的性質および化学的性質を向上させ、乾燥収縮による二次劣化をできるだけ抑制するような対策が重要である。そこで注目したのが、塗布用として実用化されているセメント結晶増殖材(以下、結晶増殖材と略す)である。

この結晶増殖材は、ポルトランドセメント、微細シリカおよび特殊な化学物質を成分としており、完全な無機質材料である。一般に、コンクリート表面の塗布材として使われており、基本的な働きは、塗布した結晶増殖材の成分のうち、触媒性の活性化学物質がコンクリート内

部の毛細管空隙に浸透し、水酸化カルシウムと反応して結晶を増殖させ、内部構造を緻密にすることにある。この働きについては、既に筆者らや他の研究者によって、一定の効果のあることが報告されている。^{2) 3) 4) 5) 6)}しかし、塗布用として用いた場合、効果が著しいとは言えず、直接、混和材としてセメントに配合した場合に効果が期待される。

本研究では、2種類の基材セメントを取り上げ、これらに結晶増殖材を配合した場合の効果を検討し、最適な配合比を特定する中で、同補修材の常温および低温養生における強度特性、および耐酸性について検討したので、これらについて報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究で用いた材料は、普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm³、平均粒径:2.2μm)、高炉セメント(密度:2.97g/cm³、平均粒径:2.8μm)および塗布用結晶増殖材(密度:2.59g/cm³、平均粒径:30.4μm)である。なお、塗布用結晶増殖材をそのまま用いた場合、粒子径が粗く、真空注入用補修材としては不適であると考え、実験においては、微粉碎した結晶増殖材(密度:2.51g/cm³、平均粒径:2.2μm)を用いた。

2.2 供試体および実験方法

本研究では、はじめに、各種基材セメントに結晶増殖材を配合した場合の効果について検討した。実験においては、結晶増殖材を質量%で10、20、30、40、60、80%配合した圧縮強度試験片(φ5×10cm)および圧裂強度試験片(φ5×5cm)を作製し、材齢28日の圧縮強度および引張強度(圧裂強度)を測定した。

次に、配合効果の実験から特定した配合比を対象とし

※1) 正会員 岩手大学工学部 建設環境工学科

※2) 株式会社 間組

て、常温養生の他に低温養生の圧縮、圧裂および付着強度試験片を作製し、水粉体比60%、材齢28日の圧縮強度、引張強度および付着強度を測定した。なお、付着強度試験は「研研式接着力試験⁷⁾」で行ったものであり、同試験法はタイル、モルタル塗料および各種接着剤などの剥離試験に広く用いられている。耐酸性試験については、水粉体比60%、常温養生で作製した試験片(φ5×10cm)を5%硫酸溶液に浸し、1週～8週にわたる試験片の相対質量の変化を測定した。結晶増殖材の配合による組織変化については、材齢28日の試験片を用いて、水銀圧入法より、細孔径分布を測定した。また、結晶増殖材の増殖性については、水粉体比60%、材齢3日、7日、28日の試験片について、電子顕微鏡観察を行った。なお、本報における常温養生とは20°Cの水中養生、低温養生とは4°Cの水中養生を指す。また、最適配合比を特定した後の試験片は、全て水粉体比を60%としたが、これは、前報で検討した真空注入方式で用いる補修材の水粉体比に合わせたためである。

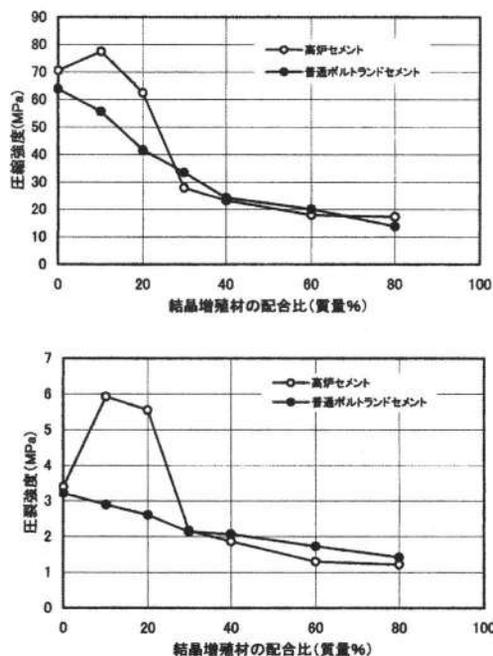


図1 基材セメントに結晶増殖材を配合したときの各種補修材の強度特性
(フロー値245mm、20°C水中養生、材齢28日)

3. 実験結果および考察

3.1 結晶増殖材の配合効果

図1は、各種基材セメントに結晶増殖材を10、20、30、40、60、80%配合した場合の、フロー値245mm、材齢28日の供試体の圧縮強度および引張強度である。普通ポルトランドセメントでは、結晶増殖材の配合による効果は全く認められず、配合比が高くなるにつれて、圧縮強度、圧裂強度は低下した。一方、高炉セメントでは、配合比10%において、圧縮強度は、配合していない高炉セメントよりも高い値となり、また、引張強度は、配合比10%～20%まで高い値を示した。しかし、さらに配合比が増すと、いずれの強度も低下した。結晶増殖材の配合による効果が、基材セメントの種類によって異なり、しかも、高炉セメントの一定の配合比だけに効果が現れることは、極めて興味ある現象であり、特筆すべきことといえる。これには、普通ポルトランドセメントに無い、スラグの関与が推定される。すなわち、高炉セメントに結晶増殖材を10%配合した場合、スラグは結晶増殖材の触媒性カルシウムと反応し、強固なカルシウムシリケート水和物を生成し、緻密な硬化体を形成することが推察される。そこで、このことを検討するため、水銀圧入法により、高炉セメントと配合比10%の細孔径分布を求めてみた。細孔が少なくなったり、径が小さくなったりすると、緻密化と考える。

図2は、配合比0%の高炉セメントと配合比10%の細孔径分布、総細孔量および平均細孔径を示したものである。配合しないものに比べ、配合比10%のピークは低く

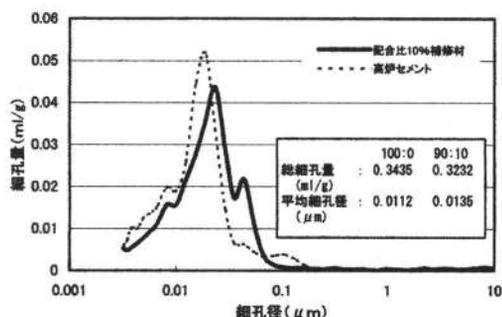


図2 10%配合補修材および高炉セメントの細孔径分布

なり、細孔径は小さい方に多く分布している。これは、結晶増殖材の配合によって、組織に緻密化をもたらしたことに他ならない。このことは、図中に示す総細孔量の値が少なくなっていることから明らかである。

以上、2種類の基材セメントを対象として、結晶増殖材を配合した場合の効果を検討したが、高炉セメントに10%配合した場合にだけ、強度の上昇が認められることは、この組み合わせの配合比が、真空注入方式における最適な補修材（以下、10%配合補修材と呼ぶ）と判断される。

3. 2 10%配合補修材の強度特性

図3は、水粉体比60%、材齢28日の、常温および低温

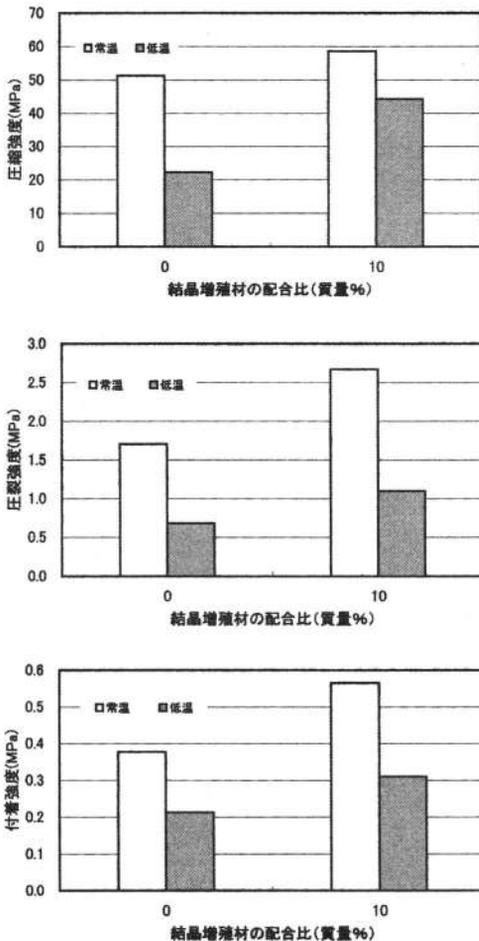


図3 常温および低温養生における各種補修材の強度特性（水粉体比60%、材齢28日）

養生における、高炉セメントと10%配合補修材の圧縮強度、引張強度および付着強度を示したものである。10%配合補修材の強度特性は、配合しないものに比べ、養生条件に関わらず、いずれの強度も増加した。また、強度の増加の度合は、常温では、圧縮強度14%、引張強度56%、付着強度50%、低温では、それぞれ99%、61%、46%となり、特に常温の引張強度と付着強度、低温の全ての強度に顕著な増加が認められた。また、10%配合の低温養生における圧縮強度（44.3MPa）は、「土木学会基準F-III-3」に規定している、セメント系注入材料の圧縮強度の目標値（0.15MPa）をはるかに上回った。このことから、10%配合補修材は、耐寒性も優れていると判断された。

図4は、水粉体比60%、材齢28日の、常温および低温養生における、高炉セメントと10%配合補修材の応力-ひずみ曲線を示したものである。常温の10%配合が最も上位に位置し、以下、順に常温の高炉セメント、低温の10%配合、低温の高炉セメントとなった。また、割線ヤング係数は、それぞれ10.5、8.7、7.4、4.1（GPa）となり、10%配合補修材は、変形性の上からも優れた補修材と判断された。

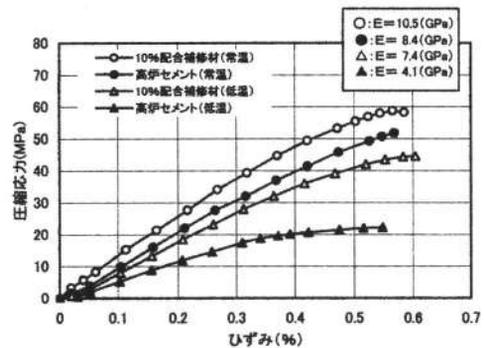


図4 常温および低温養生における各種補修材の変形特性（水粉体比60%、材齢28日）

3. 3 10%配合補修材の耐酸性

図5は、水粉体比60%、材齢28日の、高炉セメントと10%配合補修材の、5%硫酸溶液における浸漬試験の結果である。いずれの補修材とも、相対質量変化率は、浸漬期間の経過につれて増大し、この傾向は、10%配合で顕著となった。相対質量変化率の増大は、供試体が酸に

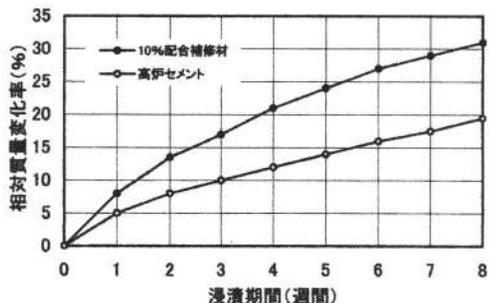


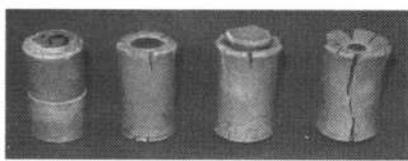
図5 5%硫酸溶液における各種補修材の浸漬期間に対する相対質量変化率の関係 (水粉体比60%、材齢28日)

よる溶出を起こさず、硫酸溶液を吸収し、膨脹することを意味する。従って、両補修材には、普通ポルトランドセメントのような溶解性は認められないが、膨脹性があり、その傾向は特に10%配合で顕著となった。

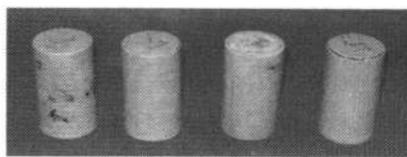
図6は、高炉セメントと10%配合補修材の、8週浸漬試験における変化を示したものである。図6(A)から、10%配合の供試体を観察すると、1週目で端面にコーン状の亀裂が発生し、2週、3週と週を重ねるごとに端面は捲り上がり、4週目以降は膨脹による縦割れの亀裂が増加した。これに対して、高炉セメントは、小さな亀裂

(A) 供試体

(1) 10%配合補修材

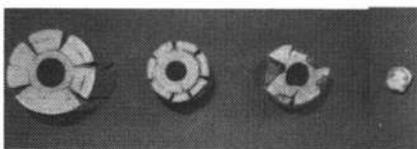
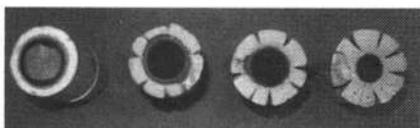


(2) 高炉セメント



(B) 供試体断面

(1) 10%配合補修材



(2) 高炉セメント

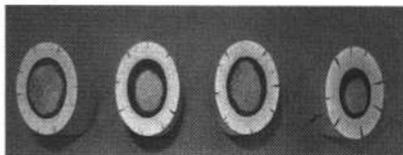
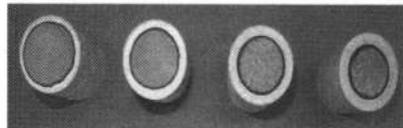


図6 5%硫酸溶液における10%配合補修材と高炉セメントの浸漬試験結果 (水粉体比60%、材齢28日)

を発生するが、膨脹による著しい変形を示さなかった。

図6 (B)は、供試体の断面を示したものである。膨脹性が顕著であった10%配合の供試体は、週を重ねるごとに侵食領域を拡大し、放射状の亀裂を発生し、コア部分の面積を縮小していくのがわかる。一方、高炉セメントは、10%配合に比べ、同じ週における侵食領域は小さく、よく膨脹を抑制しているのがわかる。この両者の相違は、高炉セメントが、もともと耐酸性に強いセメントであるのに対し、10%配合補修材は、結晶増殖材の配合によって、緻密な硬化体を形成するが、硫酸溶液中では、水酸化カルシウムが硫酸と反応して、石膏を生成し、さらにこの石膏とアルミネート水和物が反応して、酸に対して著しい膨脹性を示すエトリンガイトを生成するためと推察される。

以上のことから、10%配合補修材は、耐酸性には弱い補修材と判断される。耐酸性がないと断定しない理由は、溶解性を持たないことと、自然界では、5%硫酸溶液のような強酸性の場が多く存在しないことによる。

3. 4 10%配合補修材の増殖性

図7は、水粉体比60%、材齢3日、7日、28日における10%配合補修材の電子顕微鏡観察の結果である。10%配合補修材では、水和反応が始まると、材齢3日で針状結晶が形成され、7日、28日と日数が経過するにつれて結晶は大きくなっている。しかし、この結晶増殖が、結晶増殖材の混合によって起こったかどうかは、現段階では判然としない。今後、結晶増殖材を混合しない場合との比較において、この点を明らかにしたいと考えている。

4. まとめ

本研究では、真空注入方式で用いる新しいセメント補修材として、セメントに結晶増殖材を配合した場合の効果を検討し、最適な配合比を特定する中で、同補修材の常温および低温養生における強度特性、および耐酸性について検討した。得られた結果を要約すると、次のようになる。

- 1) セメントに結晶増殖材を配合する効果は、普通ポルトランドセメントでは認められず、高炉セメントの10%配合だけに認められた。
- 2) 10%配合補修材の強度特性は、養生条件に関わらず、圧縮、圧裂および付着強度とも、従来の補修用高炉セメントよりも向上した。また、同補修材の低温養生における圧縮強度は、「土木学会基準F-III-3」に規定したセメント系注入材料の目標値を十分に上回った。従って、耐寒性にも強い補修材と判定された。
- 3) 10%配合補修材は、5%硫酸溶液において、顕著な膨脹性を示した。従って、耐酸性は、従来の補修用高炉セメントよりも劣ると判定された。
- 4) 10%配合補修材には、水和反応開始後、3日で針状結晶が認められたが、それが結晶増殖材によるものかどうかは判然としなかった。

終わりに、本研究を遂行するに当たり、多大な協力を賜った(株)パウハウスの和久石清孝氏、菅野宏氏に深甚なる謝意を表す。

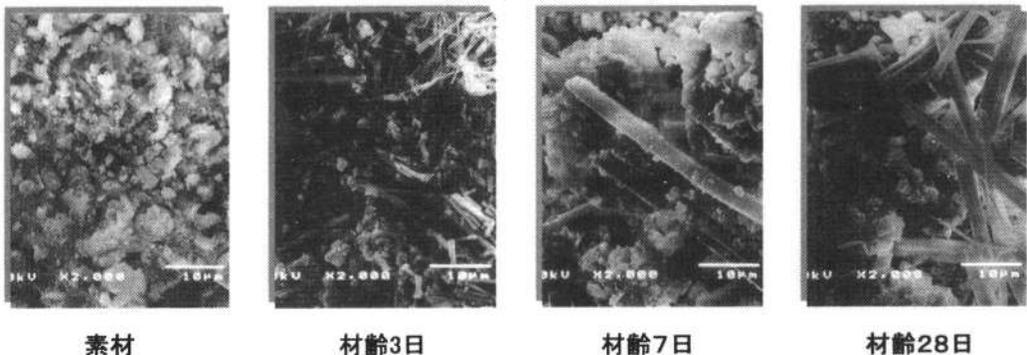


図7 10%配合補修材の電子顕微鏡観察結果

参 考 文 献

- 1) 古住光正ほか：コンクリート構造物のひび割れ補修に関する研究（第1報）—セメント系補修材の真空注入方式の検討—、骨材資源（投稿中）、(2005)
- 2) 利紀之ほか：セメント結晶増殖材による劣化コンクリート構造物の補修効果、資源・素材東北支部大会研究発表講演要旨集、I-8、(1998)
- 3) 西城能利雄ほか：セメント結晶増殖材を種々の条件で塗布したコンクリートの塩分環境下における耐凍害性、セメント・コンクリート論文集、No. 54、pp. 390-397 (2000)
- 4) 古住光正ほか：き裂を有するコンクリート構造物の補修に関する研究、資源・素材春季大会講演集、Vol. I、pp. 248-249 (2001)
- 5) 須藤武ほか：寒冷地使用におけるコンクリート補修材の検討、資源・素材春季大会講演集、Vol. I、pp. 138-139 (2002)
- 6) 須藤武ほか：試作コンクリート補修材の化学抵抗性、資源・素材東北支部大会講演要旨集、A-5 (2002)
- 7) (社)日本建築学会関東支部：建築仕上材料の性能試験方法、pp. 88 (1991)

Study on The Repairing of Cracks in Concrete Structures (Second Report)
—Cement Repairing Material Combined with Crystal Propagating Products—

FURUZUMI Mitsumasa, SUDO Takeshi, ABE Masayoshi
FUJIWARA Tadashi, OTSUKA Naohiro