

高圧条件における水和物間の接合現象と挙動変化の理解

法政大学 ○面来洋児

東京大学生産技術研究所 正会員 酒井雄也

東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

法政大学 正会員 溝渕利明

1. 研究目的

膨張材を混和したコンクリートに強い拘束を与えると、高強度化や緻密化、変形特性の向上などさまざまな挙動を示すことが報告されている。また通常のコンクリートも、高い拘束圧を与えるとひずみ硬化などの靱性的な挙動を示すことから、高圧条件下ではセメント硬化体は通常とは異なる挙動を示すと言える。しかしながら、これらのメカニズムは現状、十分には解明されていない。本研究ではセメントペーストに対して、膨張材の使用もしくは高い拘束圧の付与により、高圧環境下でのセメント硬化体の挙動把握とメカニズムの解明を試みる。

2. 試験概要

2.1 膨張材を用いたセメント水和物の接合に関する検討

本実験の供試体は、 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ のセメントペーストであり、普通ポルトランドセメントと、エトリンライト系膨張材を用いた。配合は W/B 40% で一定とし、膨張材を混和しないもの (E0) と、セメントを内割で 20% (E20) 置換した 2 種類とした。使用した膨張材の標準添加量はセメント重量の約 10% である。拘束の影響を検討するため、打設後 6 時間で脱型してビニールにより封緘養生するケースと検討材齢 (3 日) まで鋼製型枠中で養生したケースを検討した。練混ぜは、JIS R 5201 に順じて実施した。膨張材および拘束の影響による水和物性状への影響を検討するため、打設時に供試体中央部にステンレス板を挿入し、硬化後にステンレス板とセメントペーストの接触面を SEM 観察すると同時に EDS 分析を実施した。

2.2 高圧三軸試験を用いたセメント水和物の挙動変化に関する検討

本実験では、高圧三軸試験を実施し、圧力によるコンクリートの挙動の変化を把握した。 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ のセメントペーストから $\Phi 20\text{mm}\times 40\text{mm}$ に切り出した円柱試験体を使用した。配合等は前述の E0 と同様である。試験は材齢約 1 ヶ月で実施した。サンプルは熱収縮チューブで封緘し、油圧により 30, 400MPa の封圧を与えた。載荷速度は $0.02\text{mm}/\text{min}$ (上下ピストン各 $0.01\text{mm}/\text{min}$) で一定とした。

3. 試験結果及び考察

3.1 膨張材を用いたセメント水和物の接合に関する検討

SEM による観察結果を示す。スペースの都合上、拘束を与えたケースの結果のみを示している。拘束、無拘束状態によらず E0 では、一部で潰れた様な形状の水和物が確認された。大きさが $100\mu\text{m}$ 前後であることから水和物がステンレス板に触れ潰れたものと考えられる (写真-3.1)。一方、拘束を与えた E20 に関しては、観察領域中の水和物が接合し、ひとつながりの面状になっていることが確認された (写真-3.2)。膨張材を多量に混和して拘束を与えた場合、水和物同士が接合している可能性がある。無拘束状態の E20 に関しては接合を確認することは出来なかった。

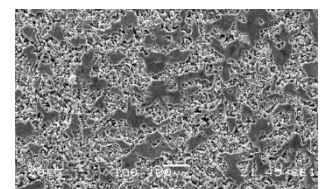


写真-3.1 E0 (×1000)

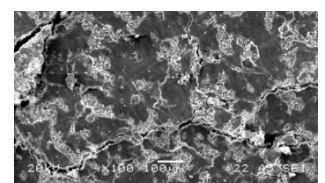


写真-3.2 E20 (×1000)

キーワード：膨張材、高圧条件、脆性破壊、延性破壊

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学 TEL. 042-387-6003 E-mail.yoji.omorai.7q@stu.hosei.ac.jp

次に、接合部を 1000 倍に拡大し、その部分に対して EDS を用いてデジタル面分析を行った。SEM 観察と EDS 分析（カルシウム分布）の結果を写真-3.3～写真-3.6 に示す。潰れたように見える水和物部分には、いずれも多くの Ca が多く含まれていた。よって、水和物同士が接合しているように見える構造においては、Ca を多く含む水和物が糊のような役割を果たしている可能性がある。

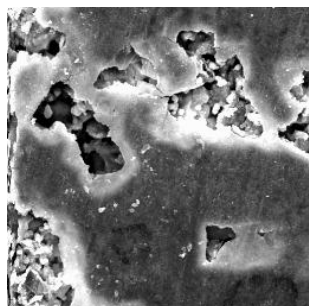


写真-3.3 E0 (×1000)

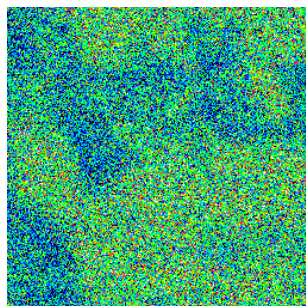


写真-3.4 EDS E0 Ca

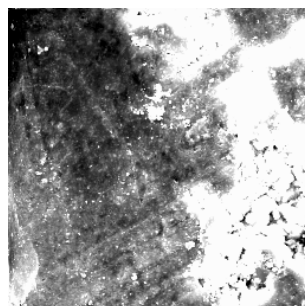


写真-3.5 E20 (×1000)

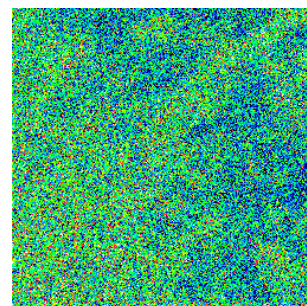


写真-3.6 EDS E20 Ca

3.2 高圧三軸試験を用いたセメント水和物の挙動変化に関する検討

30MPa, 400MPa の試験後の供試体の様子を写真-3.7, 3.8 に示す。30MPa では、脆性破壊を起こす一方で、400MPa では、延性的な破壊形状であった。しかしながら、一般的な岩石が延性的な破壊をすると樽型に変形するが、今回は異なる変形が得られた。これは、岩石と比較して多くの空隙がセメントペースト内に存在するため、また供試体端部が隆起していることから岩石に比べ流動性が高いためであると推察される。

次に、三軸試験における差応力-ひずみ曲線を図-3.1 に示す。岩石の場合一般的に、ひずみ 5%が脆性と延性の境とされる。30MPa の封圧を与えた場合、破壊形状は典型的な脆性破壊であるが、ひずみ 5%で破壊していることから破壊ひずみは脆性と延性の遷移領域である。このことから、岩石とセメントペーストでは破壊形状の変位領域の境界が異なるものと推察される。それに対し封圧 400MPa では、ひずみが 8%で破壊しており、破壊形状からも延性破壊と言える。



写真-3.7 30MPa



写真-3.8 400MPa

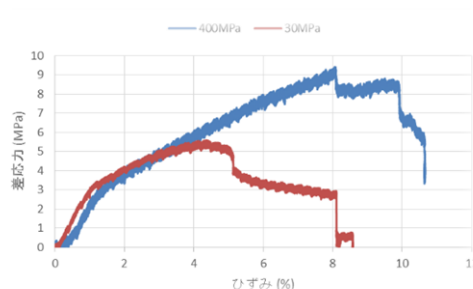


図-3.1 差応力-ひずみ図

4. 結論

- 1) 膨張材を多量添加して拘束を与えた場合、セメント水和物間に接合現象が生じうることを示す結果を得た。
- 2) Ca を多く含む水和物が、水和物同士が接合しているように見える構造において糊のような役割を果たしている可能性がある。
- 3) セメントペーストでも封圧によっては岩石と同様に延性破壊を起こすことを確認した。またその破壊形状の遷移領域が岩石と異なりうることを示す結果を得た。

5. 謝辞

三軸試験は東京大学地震研究所の中谷正夫准教授と竹内昭洋様のご指導のもと実施した。ここに記して謝意を示す。