

## 超微粒子複合シリカの恒久性と浸透固結性の実証研究

強化土エンジニアリング株式会社 正会員 角田 百合花  
 強化土株式会社 フェロー会員 島田 俊介  
 強化土エンジニアリング株式会社 正会員 小山 忠雄  
 強化土エンジニアリング株式会社 正会員 佐々木 隆光  
 東洋大学名誉教授 フェロー会員 米倉 亮三

### 1. 目的

平成7年の阪神・淡路大震災以来、基礎の高強度補強や液状化対策工事の本設注入に恒久グラウトとして超微粒子複合シリカ(以下ハイブリッドシリカと呼ぶ)の適用が増大している<sup>1)</sup>。その恒久性と浸透固結性の実証研究について室内試験と大規模野外注入試験についてまとめたのでここに報告する。

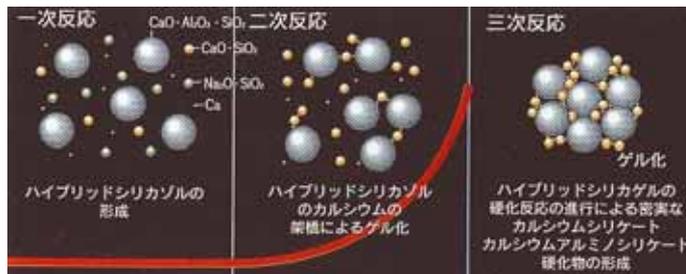


図1 ハイブリッドシリカのゲル化メカニズム

### 2. ゲル化のメカニズムと恒久原理

ハイブリッドシリカはアルカリ性シリカ溶液と超微粒子シリカ(比表面積: 10000cm<sup>2</sup>/g 以上)を複合した超微粒子複合シリカグラウトである。ハイブリッドシリカは、アルカリ性シリカのシリカ分によりゲル化し、ゲル化後に超微粒子シリカ(ハイブリッダー、表 1)とアルカリ性シリカのアルカリとの水和反応による結晶構造の形成によって、高強度を発現する(図 1)。以上を実証するために行った室内実験によるハイブリッドシリカの固結物の走査型電子顕微鏡写真と X 線回折により結晶構造が形成されることを確認した(写真 1, 図 2)。写真 2 は比較の為に行った LW のゲル化物の電子顕微鏡写真である。結晶構造は見られず、強度は経時的に低下する事が確認された<sup>3)</sup>。

表 1 懸濁系グラウトの粒径

|                      | 粉末 ブレーン<br>比表面積(cm <sup>2</sup> /g) |
|----------------------|-------------------------------------|
| 普通ポルトランドセメント         | 3000 ~ 4000                         |
| 微粒子セメント              | 5000 ~ 6000                         |
| 超微粒子セメント             | 8000 ~ 9000                         |
| 超微粒子シリカ<br>(ハイブリッダー) | 10000 ~ 11000                       |

### 3. 大規模野外実証研究

ハイブリッドシリカはゲル化機能により、注入液全体が固結し、ゲルタイムを任意に設定できるため、形状浸透固結性と逸脱防止機能を有している。またハイブリッダーは比表面積10000cm<sup>2</sup>/g以上の超微粒子材料であるため細砂への浸透性に優れている(表 1)。以上を実証するために大規模野外試験による形状浸透固結性と10年以上の経年固結性の確認を行うと共に現場における注入固結体においても結晶構造が形成されていくことの実証を行った。写真3は第1次野外注入試験(1997年)のハイブリッドシリカの注入後の固結地盤の掘削状況を示す<sup>2)</sup>。表2に掘削採取試料の1年後<sup>3)</sup>ならびに12年後の強度

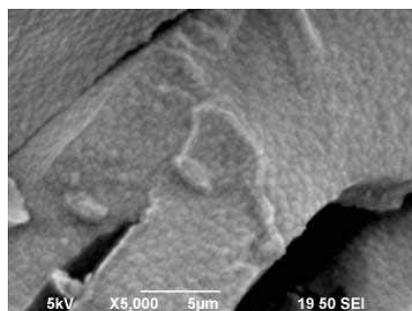
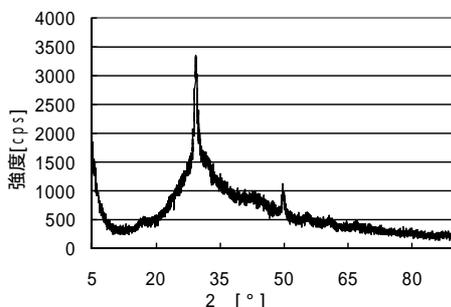
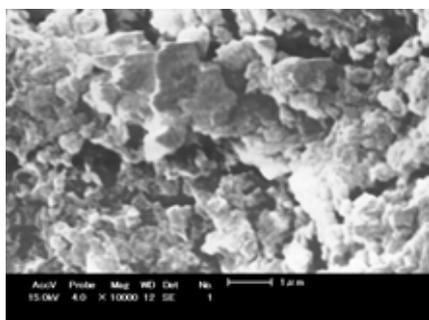


写真1, 図2 ハイブリッドシリカの固結物の走査型電子顕微鏡写真(10,000倍)と X線回折結果(神奈川工科大学)

写真2 LWのゲル化物の走査型電子顕微鏡写真(5,000倍)

キーワード 超微粒子複合シリカ, 恒久グラウト, エキスパッカ工法, 水和反応, 結晶構造, X線回折

連絡先 〒113-0033 東京都文京区本郷 3-15-1 美工ビル7F 強化土エンジニアリング(株) TEL03-3815-1687

試験の結果を示す。写真4と図3は、12年後の掘削採取したハイブリッドシリカの固結物の走査型電子顕微鏡写真とX線回折結果である。12年経っても結晶構造を保っている事が分かる。写真5は、第2次野外注入試験(1999年)における掘削調査を示す<sup>4)</sup>。写真6はハイブリッドシリカを注入した柱状浸透注入工法(エキスパッカ工法<sup>1)</sup>、図4)による柱状固結状況を示す。写真7は10年後のコアサンプリングの状況を示し、図5はハイブリッドシリカの10年間のコアサンプリング試料の経年固結強度を示す。これより、一軸圧縮試験においては強度が増加している事が分かった。

4. まとめ

ハイブリッドシリカの恒久性の実証を室内試験と野外試験によって行うと共に柱状浸透注入工法(エキスパッカ工法)を用いて広範囲形状浸透固結性と10年以上の経年固結性を確認した。この結果ハイブリッドシリカは恒久グラウトとして判断出来る事が分かった。

**参考文献** 1)東畑郁生, 米倉亮三, 島田俊介, 社本康広「地震と地盤の液状化」第3章, インデックス出版(2010.10.28) 2)名越, 米倉, 島田: 超微粒子懸濁型注入材の現場実証試験報告, 土木学会第53回年次学術講演会(1998年10月) 3)米倉, 名越, 島田, 盛: 超微粒子複合シリカグラウトの耐久性実証試験報告, 第36回地盤工学会研究発表会(2001年6月) 4)小山, 島田, 佐々木, 米倉: 薬液注入の恒久性に関する野外実験結果, 土木学会第65回年次学術講演会(平成22年9月)



写真3 第1次野外注入試験における削孔現場状況(1997年)

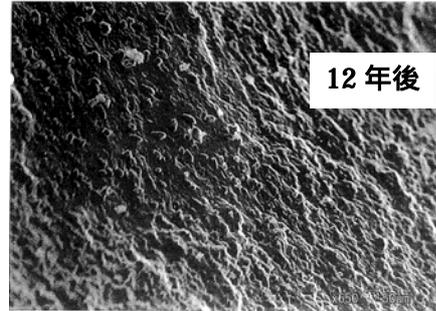


写真4, 図3 第1次掘削固結物の走査型電子顕微鏡写真(650倍)とX線回折結果

表2 1997年第1次野外注入試験ハイブリッドシリカの固結土の強度

| [1年後]1998年                                   | [12年後]2009年                                  |
|--|--|
| 三軸試験結果<br>c=0.64MN/m <sup>2</sup><br>φ=56.5° | 三軸試験結果<br>c=0.61MN/m <sup>2</sup><br>φ=62.1° |
| 一軸圧縮試験<br>qu=4.4MN/m <sup>2</sup>            | 一軸圧縮試験<br>qu=4.9MN/m <sup>2</sup>            |

原地盤の標準貫入試験 N 10→ 30°

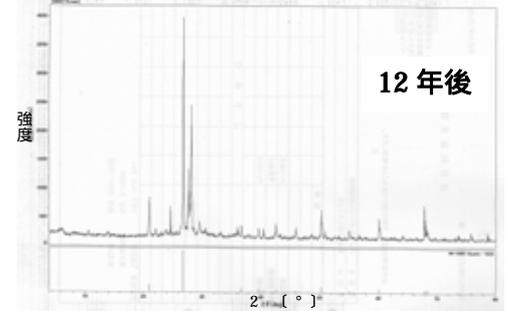


写真5 第2次野外注入試験における固結状況の掘削現場状況(1999年)



写真6 柱状浸透固結状況(エキスパッカ工法)



写真7 エキスパッカ工法で採取したハイブリッドシリカの10年後のコア

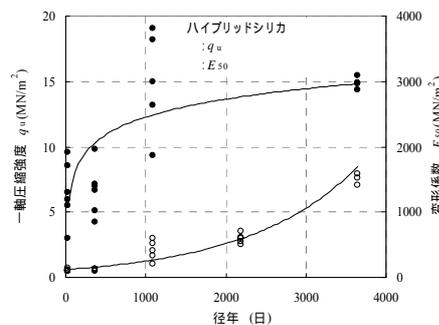


図5 恒久グラウトの経年固結性(1999年~2009年)の実証(10年間)

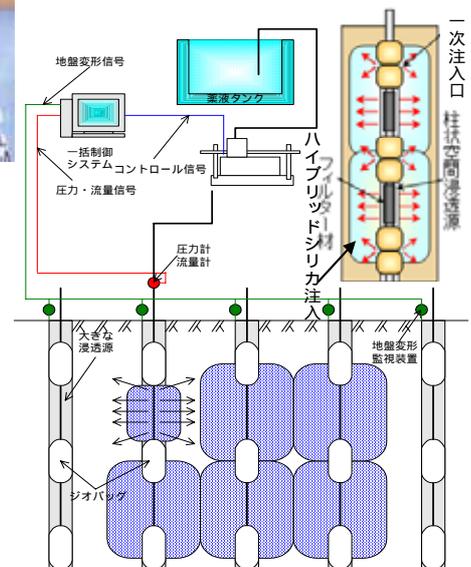


図4 エキスパッカ工法システム概要