

ポゾラン反応

 あり
有 泉

 あきら
昌*

古代エジプトでは石こうが、アッシリアおよびバビロンではアスファルト系が建設材料として使用されたのに対し、クレート文化ではある種の粘土と石灰との混合物が実用されていた。ギリシャ以後古代ローマへと粘土-石灰系が引きつがれ、ローマの隆盛と共にヨーロッパ各地の適当な天然材料が、石灰と混合して建設材料となっていた。ローマンセメントと呼ばれる水硬性石灰が、ポルトランドセメントへと発展する長い期間でも、ポゾランは歴史と共に生きつづけてきた。しかしその割には反応機構などで不明の点が多く残されている。

ポゾラン反応とは、ケイ酸質のある種の天然または人工的物質が消石灰との共存の下で水硬性を示し、凝結硬化する反応をいう。この場合消石灰の相手となる物質をポゾランとよんでいる。古代ローマ技術者はクレート文化が使用した凝灰質の Santorin 土の代りを求め、ナポリ湾に面する Pozzoli 近辺のベスピアス火山による火山灰土が良質のものであることを知った。以後この種物質を Pozzolana (フランスでは Pozzaulana) とよび、英語でも同様によび、日本ではポゾランという。なおローマ時代から焼いたポゾランの方がよりよい性質を与えることも知られており、焼成タイル粉碎物を有効に利用する技術も知られていた。

すでに述べたように Pozzolanas には天然と人工のものがあり、前者はベスピアス火山による滞積物であるほか、エーゲ海の Santorin 土、ライン河畔の Trass (ドイツのトラスセメント用混和材) などは有名であるが、必ずしも全部が地質的起源を同じくするものではない。極端な例では火山灰でもポゾラン性を持たないものもある。なお火山性でなくともポゾラン性を与えるものもあり、その例としてはケイソウ土、オパールなど高シリカ材料または粘土鉱物などである。後者である人工品では焼成粘土または頁岩、フライアッシュ、モーレルと呼ばれる焼成ケイソウ土、焼成ボーキサイトまたは高炉スラグなどである。

ポゾランは種類も多く、鉱物学および化学的に多くの研究が行なわれてきた。一応共通している点は微晶質、ガラス質、無定形質を含み、相当量の可溶性シリカまたはアルミナを含み、石灰溶液との共存で石灰を固定して新しい結晶物質を生成する。ポゾランの種類、反応条件により生成するケイ酸石灰水和物、アルミン酸石灰水和物、ゲーレンナイト水和物などの割合または組成は広い範囲に変動する。

ポゾラン反応は石灰とどのように反応しようが、建設材料として強度を与えねば意味をなさない。化学的鉱物学的には反応生成物などにつき研究は進んでいるが、強度発生との相関が一般には明らかとはいえない。もちろん特定ポゾランについては、それ自体および石灰との反応につき測定することにより、強度などを評価できるが、その結果は別のポゾランには適用できないのが一般である。なおポゾランは反応を行なう部分と不活性の部分よりなり、それらの強度発生への寄与についても不明の点が多い。

ポゾラン反応は本来セメントおよびコンクリートの分野で取扱われているが、石灰による土質安定処理に関連する。土を構成する粘土、シルトにはポゾラン反応性を示すものも多く、ソイルライムの場合は混合初期に認められる団粒形成に必要な石灰保持反応に引き続き、ポゾラン反応が長期にわたり進行するので、この両者は区別して考えるべきである。ポゾラン反応は土の反応性および石灰量などにより、反応速度および反応生成物などは相違し、当然強度発生状況も異なる。土を構成する粘土鉱物では関東ロームなどのアロファンおよび加水ハロイサイトは特にポゾラン反応性があり、ベントナイトおよび結晶度の低いカオリナイトなどもよく石灰と反応する。極端な例だが、アロファンと消石灰とのモルタルでは、3日位で消石灰は消失し、アロファンの50%以上の石灰は簡単に固定され、徐々に別の結晶性物質に変化することが知られている。また土中の石英、長石などの造岩鉱物などは反応性がないと考えてよく、結晶度のよいカオリナイト、クロライトなどは反応性が著しく劣ると考えてよい。土の場合でもポゾラン反応性を評価する一般的方法はないので、土質によっては面倒でもそのたびに試験することになる。

ポゾラン反応の利用はわが国ではオランダ人によりもたらされ、長崎または平戸には当時の天川粘土などを用いたモルタルを見ることができる。また三和土、二和土などのタタキ土もこの輸入技術であり、明治の前半では火山灰セメントが海工事に使用されたし、大正年代でも唐津火山灰が呼子港より輸出された記録もあり、また太平洋戦争中には大規模のポゾラン調査が実施された。

なおポゾラン反応につき詳しく調べたい人は一般のセメント化学の書物を参照されるとよいし、総説としては下記のものを見ると有益である。

F. M. Lea, Symp. Stockholm (1938)

ASTM, Spec. Tech. Pub. No. 99 (1950)

(原稿受理 1973.11.6)

土と基礎, 22-1 (191)

* 工博 鹿島建設技術研究所次長