

[1055] 固体間摩擦抵抗に及ぼすペーストの効果

正会員 ○ 泉 達男 (花王(株)和歌山研究所)  
 正会員 前川 宏一 (東京大学工学部)  
 正会員 小沢 一雅 (東京大学工学部)  
 正会員 國島 正彦 (東京大学工学部)

1. まえがき

コンクリートのポンプ圧送は省力化と工期の短縮化等の経済的メリットによって広く普及するようになったが、一方で圧送管内での『閉塞』や『材料分離』などの未解決な問題も同時に含んでいる。

一般に直管部では、固体栓が形成され、せん断ひずみ速度が無い領域が存在するといわれている<sup>1)</sup>。ところが、曲がり部や断面変化部(テーパ等)では骨材の相対的位置の変化や潤滑層の層厚変化がもたらされる<sup>2)</sup>(図-1)。その結果、骨材相互や骨材・管壁間に衝突・接触摩擦などの応力伝達が励起され、アーチングや閉塞を引き起こす要因の一つになっている<sup>3)</sup>と考えられる。ペーストの力学的特性は骨材の動きにも影響を及ぼすと考えられるが、その他に骨材間に存在するペースト(モルタル)の性質によって粒子間の応力伝達機構も影響を受けると思われる。

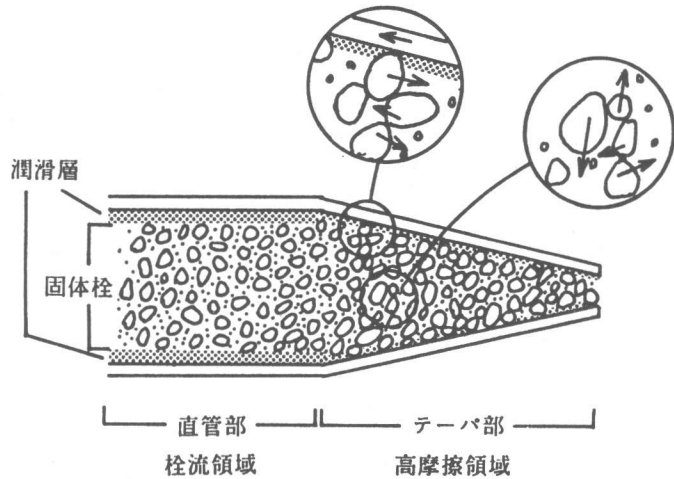


図-1 テーパ部での管内流動

セメントペースト、モルタルの力学的特性の評価方法として、二重円筒型、引き上げ球型、平行板型など種々の方法が報告されている。しかし、これらの方法は、固体間摩擦抵抗の観点から行われている方法ではない。

そこで、本研究では特に骨材間や骨材と管壁間の摩擦抵抗に及ぼすペーストの効果を調べるため、ペーストを介した鋼板による直接せん断試験を行い、ペーストを介在させた状態でのマクロなせん断力を測定した。これを基に、固体間のせん断応力伝達機構に及ぼすペーストの役割について検討したものである。

2. 実験概要

2. 1. 使用材料

ペーストには、化学的に安定な高炉スラグ(比重 2.9、ブレン比表面積 3290 cm<sup>2</sup>/g、7860

cm<sup>2</sup>/g) を主として用いた。また、一部の実験には普通ポルトランドセメント (比重 3.15、ブレン比表面積 3260 cm<sup>2</sup>/g)、フライアッシュ (比重 2.19、ブレン比表面積 3000 cm<sup>2</sup>/g) を使用した。混和剤としては、増粘剤にはメチルセルロースを主成分にしたものを、高性能減水剤には、ナフタリンスルホン酸塩系のもを使用した。

## 2. 2. 実験方法

直接せん断試験の形状寸法を図-2に示す。ペーストはモルタルミキサーを用い、自転140rpm、公転62rpmで1分間、さらに自転285rpm、公転125rpmで2分間混練した後、2枚の鋼板の間にはさみ、一定の鉛直荷重 ( $60 \times 10^{-3} \text{kg/cm}^2$ ) を掛け、試料の膜厚をほぼ均等にした。一度、鉛直荷重を除荷した後、再び所定の鉛直荷重をかけた。先端にロードセルを装着したサーボモーターで上部鋼板を一定速度で押し、鋼板間のせん断抵抗を経時的に測定した (1/20秒間隔)。

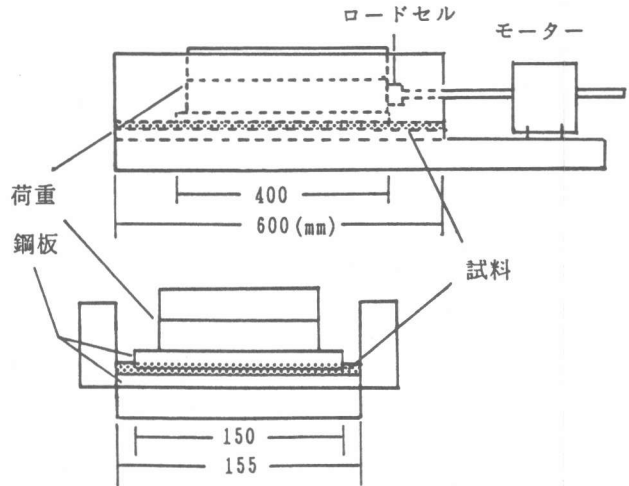


図-2 直接せん断試験装置

せん断抵抗値の時間平均で固体間摩擦を評価し、抵抗機構の解釈のため、平均まわりの標準偏差をダイナミックアンプによる測定から求めた。また、厳密には試料の粘度特性などによって実験中に試料の膜厚が、多少変化すると予想されるが、今回の実験は膜厚変化の測定は行わなかった。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1. 固体間せん断抵抗の機構

スラゲ水系によるペーストを介在させた状態の固体間平均せん断抵抗応力  $\tau$  と直応力  $\sigma$  の関係を図-3に示す。せん断応力と直応力の関係には、粘土などの粒状体にみられるクーロンの式がほぼ成立することが分かる。

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

但し、 $C$  は見かけの粘着応力、 $\phi$  は見かけの内部摩擦角を意味する。しかし、 $\phi$  や  $C$  はペーストの配合によって変化し、水/スラグ比率 ( $W/S$ ) が 116vol% 近傍で摩擦角が大きく低減していることが分かる。これは、せん断

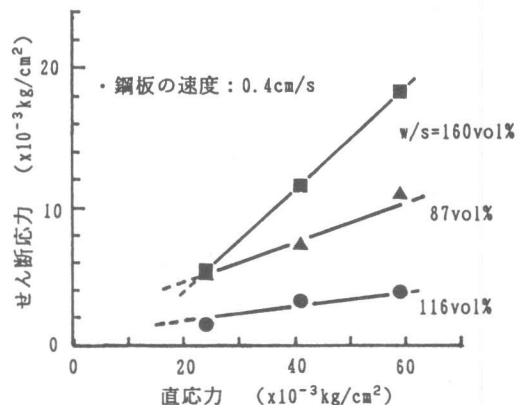


図-3 せん断応力-直応力の関係

伝達機構において、式(1)の右辺第一項の粘着機構が卓越し、第二項の摩擦機構が相対的に小さくなったことを意味している。

介在ペーストの組成が固体間摩擦機構に及ぼす効果を考察する意味で、 $W/S$ を変化させた時の平均せん断応力 $\tau$ の変化を図-4に示したところ、 $\tau$ を最小にする $W/S$ が存在することが判明した。さらに、標準偏差にも最小値を与える $W/S$ が存在し、ほぼ $\tau$ の最小値を与える $W/S$ に一致していることが分かった。但し、 $W/S$ が小さい領域では、大きい領域と比較して標準偏差の変化は顕著にみられない(図-5)。

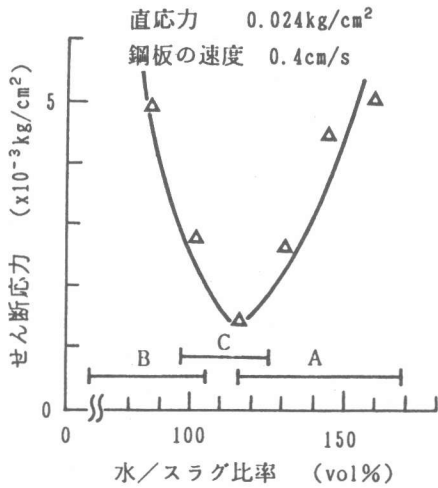


図-4 水/スラグ比によるせん断抵抗力への影響(1)

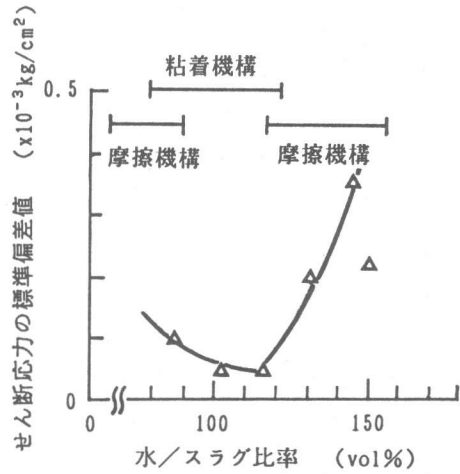


図-5 水/スラグ比によるせん断抵抗力への影響(2)

伝達せん断応力は、1)鋼板同士の接触や粉体粒子の接触・衝突で伝達される摩擦成分( $\sigma \tan \phi$ )と、2)鋼板間のペーストが流体としてせん断変形に抵抗する粘着成分 $C$ の和として表される。ペーストの粘性の小さいA領域(図-4)は、主として鋼板接触による摩擦効果が卓越するため、鋼板接触で顕著に現れる標準偏差の増加が現れるものと解釈される。一方、ペースト粘度の高いB領域では、逆に粘性挙動が卓越し、直接接触による摩擦機構が軽減されて、標準偏差が小さくなったと考えられる。但し、 $W/S$ の低下は粉体量の増加を意味するので、粉体間の摩擦挙動が粘性付加の効果を上回るため、B領域での $\tau$ と標準偏差が $W/S$ の減少に伴い、増加するものと想像される。このような摩擦と粘着機構による伝達せん断力を最小にする $W/S$ がC領域に現れるのである。

### 3. 2. せん断抵抗力に及ぼす混和剤の影響

#### 3. 2. 1. 増粘剤による摩擦機構の低減効果

増粘剤の添加は粘着機構を付与し、摩擦機構を低減させる効果を持つと考えられる。 $W/S = 131 \text{ vol}\% (45 \text{ wt}\%)$ のスラグペーストに増粘剤を添加した場合、せん断応力が添加量 $0.125 \text{ wt}\%$ 付近で最小になり、その後著しく増大した(図-6)。また、せん断応力の標準偏差値は添加量と共に急激に減少し、 $0.125 \text{ wt}\%$ 以上ではほとんど一定値に収束した(図-7)。つまり、無添加時はペーストの粘性が低く、鋼板同士の接触による摩擦機構が卓越していたものが、増粘剤添加によって粘着機構が卓越してきたものと思われる。