

1. まえがき

フレッシュコンクリートの粉粒体的性質は三軸圧縮試験や直接せん断試験などのせん断試験を用いて、せん断応力とその変形の関係より求められ、「破壊」の問題に帰着する。

本研究はフレッシュコンクリートの粉粒体的性質を簡易に測定できるプレート引き上げ試験に着目し、その試験方法の妥当性並びに適用性を調べることを目的として、〔1〕フレッシュコンクリート中にあるプレートの引き上げ抵抗の解析、〔2〕三軸圧縮試験結果との比較、などについて検討したものである。

2. フレッシュコンクリートのせん断試験

粉粒体のせん断強度を測定する試験としては三軸圧縮試験と直接せん断試験が代表的であるが、これらとプレート引き上げ試験について試験方法としての比較は表1に示すとおりである。フレッシュコンクリートの特性を考慮すると、その試験方法は非排水条件と短時間試験が不可欠の条件であり、その点では力学的条件が不明確であるがプレート引き上げ試験はその具備すべき条件を備えていると考えられる。粉粒体のせん断強度はクーロンの式により、 $\tau = C + \sigma \tan \phi$ で表わされる。フレッシュコンクリートの場合、粘着力と内部摩擦角とを明確に区別することは非常に困難であり、全せん断強度のよまでも示しても実用的には問題ないと考えられる。

表-1 せん断試験方法の比較

項目	三軸圧縮	直接せん断	プレート引き上げ
力学的条件	最も明確	明確	不明確
排水条件	非排水	排水	非排水
供試体作製	難	やや難	易
供試体寸法	$\phi 10 \times 20$ cm	—	$\phi 35 \times 10$ cm
試験機械	大型	中型	小型
試験熟練度	要	不要	不要
試験時間(分)	40	30	10

3. フレッシュコンクリート中にあるプレートの引き上げ抵抗の解析

3-1. 粉粒体のすべり¹⁾ 図1に示すような塑性状態にある粉粒体中の微小要素に作用する応力はすべり面が主応力 σ_1 の方向と $(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$ であると看之、すべり線の線素 ds とし、図2のモールの応力円により、次のようになる。

$$\sigma_x = \sigma_m \{1 - \sin \phi \cdot \sin(2\theta - \phi)\} - C \cdot \cos \phi \cdot \sin(2\theta - \phi) \quad (1)$$

$$\sigma_y = \sigma_m \{1 + \sin \phi \cdot \sin(2\theta - \phi)\} + C \cdot \cos \phi \cdot \sin(2\theta - \phi) \quad (2)$$

$$\tau = (\sigma_m \sin \phi + C \cdot \cos \phi) \cdot \cos(2\theta - \phi) \quad (3)$$

力のつりあい式 $\frac{\partial \sigma_y}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = w$ から、 w は単位重量とし、

$$\cos \phi \cdot \frac{\partial \sigma_m}{\partial s} + 2 \sin \phi (\sigma_m + C \cdot \cot \phi) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial s} = w \cdot \cos \theta \quad (4)$$

図2におけるすべり線a任意の位置のせん断応力 τ_s は

$$\tau_s = \sigma_m \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi + C \cdot \cos^2 \phi \quad (5)$$

(4)式を書き直すと

$$\frac{\partial \tau}{\partial s} + 2 \tan \phi \cdot \tau_s \cdot \frac{\partial \theta}{\partial s} = w \cdot \sin \phi \cdot \cos \theta \quad (6)$$

(6)はKötterの式といい、すべり面に作用する応力のつりあい式である。

3-2. 2次元モデル実験によるすべり面の観察

フレッシュコンクリート中にあるプレートを引き上げるとき、すべり面がどのように形成されるか、

2次元モデルの実験で、すべり面の観察を行った。容器は高さ30cm、奥行8cm、

試料厚 $H=15$ cm、プレート幅10cmとした。コンクリートの配合は $w/c=40\%$ 、

$w=170$ kg/m³、 $s/a=20 \sim 40\%$ である。実験結果は図3に示すようであり、すべり面はプレート上端から容器外端

へ向かう曲線形状(図3中の破線が示す)となった。

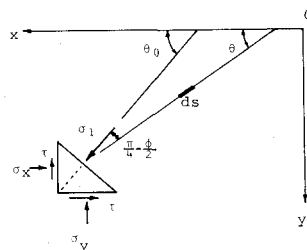


Fig.1 Stress and Slide Surface in Granular Body

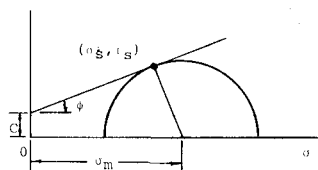


Fig.2 Mohr's Stress Circle

3-3. プレート引き上げ試験の解析

すべり面を図-4に示すように、試料表面において、 $\alpha_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$ 、曲率半径 $r = H / \cos \alpha_0$ をなす円弧すべり面を仮定すると、図-3に示すように(実線)、実験結果から得られたすべり面とよく近似するので、このように仮定して以下に解析を試みる。

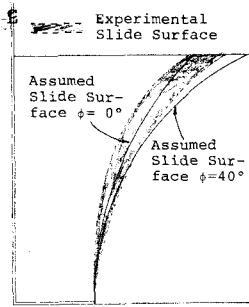


Fig.3 Slide Surface in 2 Dimensional Model

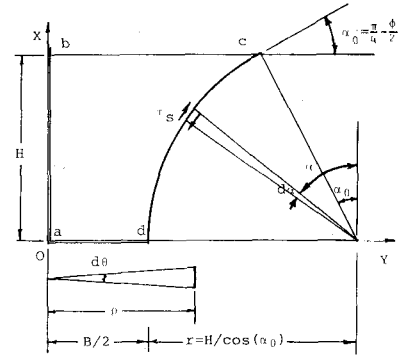


Fig.4 Slide Surface Assumed in Analysis

プレート引き上げ抵抗力 P は次の式で表わされる。

$$P = P_w + P_f + P_c \quad (7)$$

ここで、 P_w は $a-b-c-d$ を x 軸に回転させた体積 V の自重、 P_f は内部摩擦角による抵抗力、 P_c は粘着力による抵抗力である。

$$P_w = w \cdot V, \quad V = \pi \left[\left(\frac{B}{2} + r \right)^2 H - \left(\frac{B}{2} + r \right) \left\{ H \left[r^2 - H^2 + r^2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \right] + r^2 H - \frac{H^3}{3} \right\} \right] \quad (8)$$

図-4から、 $ds = r \cdot d\alpha$ 、 $\theta = \alpha$ とすると、(6)式は次のようになる。

$$\frac{dT_s}{d\alpha} + 2 \tan \phi \cdot T_s = w r \sin \phi \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

(9)式を境界条件 $\alpha = \alpha_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$ 、 $T_s = 0$ とし解くと、

$$T_s = \frac{w r \sin \phi}{4 \tan^2 \phi + 1} \left[(2 \tan \phi \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - e^{2 \tan \phi (\alpha - \alpha_0)} (2 \tan \phi \cdot \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0) \right] \quad (10)$$

すべり面の任意点における x 軸からの距離 s は、 $s = r \left(\frac{B}{2r} + 1 - \sin \alpha \right)$

$$A_1 = r \cdot \sin \phi / (4 \tan^2 \phi + 1), \quad A_2 = 2 \tan \phi$$

$$P_f = \int_0^{\pi/2} \int_{\alpha_0}^{\pi/2} T_s \cdot s \cdot r \cdot \sin \alpha \, d\alpha \cdot d\theta = 2\pi r^2 w \left(1 + \frac{B}{2r} \right) \left[\frac{1}{2} A_1 \left\{ A_2 - A_2 \sin^2 \alpha_0 + \frac{\pi}{2} - (\alpha_0 - \frac{1}{2} \sin 2\alpha_0) \right\} + \frac{1}{(A_2)^2 + 1} \left\{ A_1 (A_2 \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0) \left\{ A_2 e^{A_2 (\alpha_0 - \frac{\pi}{2})} (A_2 \sin \alpha_0 + \cos \alpha_0) \right\} - 2\pi r^2 w \left[\frac{A_1 A_2}{3} (1 - \sin^2 \alpha_0) + \frac{A_1}{3} \cos \alpha_0 (\sin^2 \alpha_0 + 2) \right. \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{1}{(A_2)^2 + 4} \cdot A_1 (A_2 \cos \alpha_0 + \sin \alpha_0) \left\{ A_2 + \frac{2}{A_2} \right\} e^{A_2 (\alpha_0 - \frac{\pi}{2})} - (A_2 \cdot \sin \alpha_0 + 2 \cos \alpha_0) \cdot \sin \alpha_0 + \frac{2}{A_2} \right\} \right\} \right] \quad (\phi > 0) \quad (11)$$

$$P_c = \int_0^{\pi/2} \int_{\alpha_0}^{\pi/2} C \cdot s \cdot r \cdot \sin \alpha \, d\alpha \cdot d\theta = 2\pi r^2 C \left[\left(1 + \frac{B}{2r} \right) \cos \alpha_0 + \frac{\alpha_0}{2} - \frac{\pi}{4} - \frac{1}{4} \sin 2\alpha_0 \right] \quad (12)$$

P の計算結果は図-5に示すとおりであり、この図から P は C の影響が支配的であり、 ϕ の影響は非常に小さい。これはこの試験が外力としては自重のみであることによるもので、従って、 ϕ を無視しても差し障りないと考えられる。 $\phi = 0$ とすると、 $P = w(0.785 B^2 H + 0.405 B H^2 + 0.102 H^3) + C(6.428 B H + 1.64 H^2)$ となる。

4. 三軸圧縮試験との比較 プレート引き上げ試験から求めた粘着力と三軸圧縮試験より求めたそれとを比較

するため、モルタル ($w/c = 40\%$, $w = 210 \text{ kg/m}^3$, $70 \sim 110$)

とコンクリート ($w/c = 40\%$, $w = 130 \text{ kg/m}^3$, $s/a = 40\%$, $SL.0.7 \sim 1.5$)

について実験を行った。試験結果は表-2に示すとおりであるが、モルタルは $C_p/C_t = 1/6$ 、コンクリートは $C_p/C_t = 1/9$ となり、プレート引き上げ試験より求めた粘着力 C_p はかなり小さい値を示した。

表-2 両試験結果およびその比較

種別	三軸圧縮試験				プレート引き上げ		比
	粘着力 (g/cm^2)		内部摩擦角 ($^\circ$)		粘着力 (g/cm^2)		
	C_t	$\bar{C}_t$	ϕ	$\bar{\phi}$	C_p	$\bar{C}_p$	$\frac{C_p}{C_t}$
モルタル	175~213	194	13.9~15.4	14.7	27.2~38.7	33.0	$\frac{1}{5.9}$
コンクリート	225~550	388	16.7~26.3	21.5	33.1~53.3	41.7	$\frac{1}{4.3}$

謝辞 本研究は東京都立大学、村田二郎教授の御指導のもとで行ったものであり、深甚なる謝意を表します。

参考文献 1) 最上; 土質力学, 共立出版, 昭和38年