

# モルタルおよびコンクリート供試体の表面仕上げ 厚さ、形状による圧縮破壊様相の考察\*

加賀美 一二三, 坂 井 潤

## 緒 言

コンクリートの圧縮破壊に対する供試体表面の平滑度については、JIS A 1108 5 により、規定されており最近の研究もあるが、セメントペーストによる表面仕上げに関しては、Gonnerman などの研究に基づいて、3mm 程度の厚さがよいといわれているだけで、規定としては JIS A 1108 4, 5 に示されている程度である。

現場造形の供試体はキャッピングの厚さが不揃いにて、3~10mm の範囲におよぶものがある現状である。故に著者は、キャッピングの厚さ並びに形状が圧縮破壊の機構におよぼす関係を考察しようとして、モルタルは平層、傾斜層および錐状キャッピング供試体、コンクリートは平層および錐状キャッピング供試体について実験した結果キャッピング下地表面は水平にして、硬軟コンクリートの何れの場合にも、操作上可能な限り薄く仕上げるべきであるということを述べたものである。

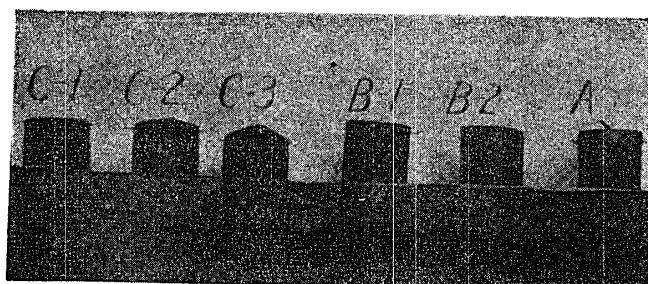
## 1. 実験供試体

本実験は径 5cm, 高さ 10cm の小型モルタル供試体と標準供試体による、モルタルおよびコンクリートによる場合である。

### (1) モルタル小型供試体

細骨材は 0~1.2mm と 1.2mm~5mm までの 2 種の A, B モルタルとし、その粗粒率は各 2.37, 4.17, 比重は 2.54, 2.52, 吸水量は 1.54, 2.31%, セメントは某社の普通ポルトランドセメントにて、重量配合は 1:2, w/c は 43% とした。

キャッピングの型は写真一のごとく木型にて、所定の形を保つために図一に示すように



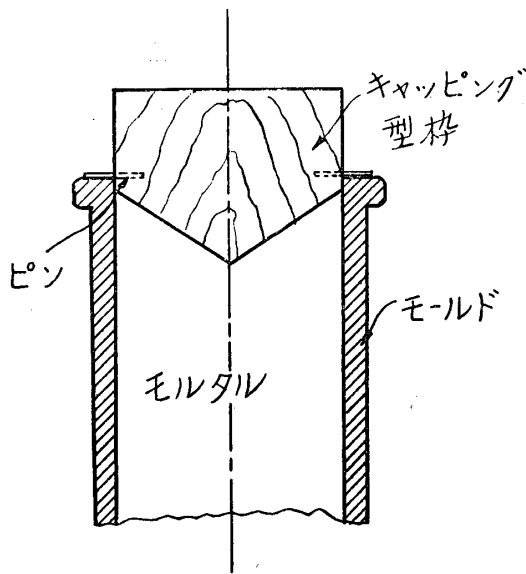
写真一 小型モルタル供試体に用いたキャッピングの型

4本のピンを木型に打込み使用してキャッピングの形をととのえた後、w/c 30%のセメントペーストにて表面仕上げをなし、24時間後モールドを外して、4週材令に達するまで水中養生した。Aモルタルは3層、各層25回つき固め、Bモルタルは各層30回つきとした。この場合、キャッピング面の仕上げの一定を期するため、写真二のよう

にガラス板の上に錘をのせた。

平層供試体はその厚さ数種、傾斜層供試体はその傾斜角数種、錐状供試体はその錐辺傾斜数種とし、各々13個供試体を作って試験した。

\* 昭和34年12月、中四国土木学会支部講演会にて発表のもの



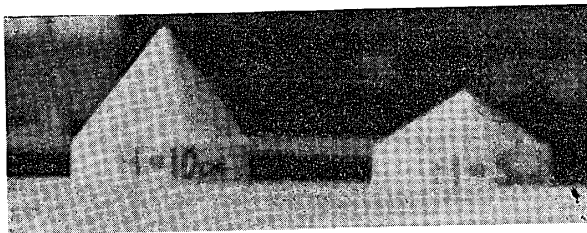
図一 表面仕上げに当りピンを用いて木型位置の保持状態

モルタルの場合と同様のものとし、粗骨材は碎石にて粗粒率7.52，比重2.73，吸水量0.7%のものを用い，配合は表一のものとした。

表一

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	単位水量 W (kg)	単位セメン ト量 C (kg)	水セメント比 $w/c$ (%)	絶対細骨 材率 $s/a$ (%)	単位細骨 材量 S (kg)	器位粗骨 材量 G (kg)
A	40	8±1	171	279	61.3	39.9	874	1,320
B	40	8±1	171	445	38.4	35.4	638	1,160

モルタルおよびコンクリートの A, B 配合とも，キャッピングなし，平層キャッピング，錐状キャッピング（錐高 5, 10cm）供試体について実験した。この場合のキャッピング型は写真一三のものを用いた。



写真一三 標準供試体錐状キャッピング用型

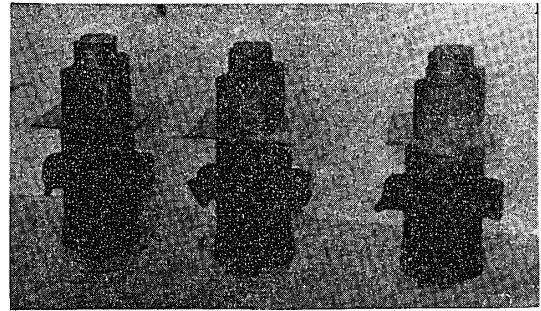
ムスラー試験機を用い，破壊強度と破壊様相を求めた。

### 3. 測定結果

#### (1) モルタル小型供試体の場合

測定各回，供試体は13個作り，破壊試験結果の平均値を示すと表一2となる。

いま，表一2に示す実験結果について，各キャッピングの場合について実験式を求めてみる。この場合， $\sigma_{my}$  をモルタル材令28日の破壊強度， $\text{kg/cm}^2$  とする。



写真一2 キャッピング仕上げに当っての表面重量負荷

#### (2) モルタルおよびコンクリートによる標準供試体

モルタル供試体は細骨材として，粗粒率2.68，比重2.52，吸水量2.5%のものを用い，配合は重量にて1：2とした。

コンクリート供試体は細骨材としてモルタル

### 2. 実験方法

モルタル小型供試体は 20t，モルタルおよびコンクリート標準供試体は 100t のア

表 - 2

測定回数	平層キャッピング				傾斜層キャッピング				錐状キャッピング			
	Aモルタル, 厚 (mm)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Bモルタル, 厚 (mm)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Aモルタル, 傾角度 (°)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Bモルタル, 傾角度 (°)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Aモルタル, 傾角度 (°)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Bモルタル, 傾角度 (°)	破壊強度 $\sigma_{my}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	449	0	474	0	449	0	515	0	449	0	474
2	0	460	0	525	0	460	0	474	0	460	0	515
3	0.5	474	1.0	477	3	441	2	533	9	476	5	544
4	1.0	485	1.0	480	3	485	3.5	535	9	465	5	536
5	1.0	417	1.0	510	6	463	5	515	9	457	8	500
6	2.5	449	3.0	492	—	—	6	505	22	479	10	516
7	3.0	474	3.0	505	—	—	6	515	—	—	20	522
8	7.0	480	7.0	525	—	—	7	525	—	—	22	549

平層キャッピングの場合；

$$A \text{モルタル} : \sigma_{my} = 456 + 2.4x$$

$$B \text{モルタル} : \sigma_{my} = 489 + 5.1x$$

ここに,

$x$  = キャッピングの厚さ, mm

傾斜層キャッピングの場合；

$$A \text{モルタル} : \sigma_{my} = 456 + 1.7\alpha$$

$$B \text{モルタル} : \sigma_{my} = 505 + 2.5\alpha$$

ここに,

$\alpha$  = 傾斜層キャッピングの傾角, 度,

錐状キャッピングの場合；

$$A \text{モルタル} : \sigma_{my} = 455 + 1.2\beta$$

$$B \text{モルタル} : \sigma_{my} = 507 + 1.5\beta$$

ここに,

$\beta$  = 錐状キャッピングの錐辺の傾角, 度

(2) モルタルおよびコンクリート標準供試体の場合

キャッピングなし, 平層, 錐状キャッピング (錐高 5, 10cm) 供試体各 4 個を作製し, 材令 28日の破壊試験結果の平均値を示すと表一三となる。

表 - 3

供試体の種類	モルタル, 配合 1;2, $\sigma_{my}$ , kg/cm <sup>2</sup>	コンクリート	
		A配合, $\sigma_{cy}$ , kg/cm <sup>2</sup>	B配合, $\sigma_{cy}$ , kg/cm <sup>2</sup>
キャッピングなし	360	140	309
平層	370	142	349
錐状キャッピング	錐高 5cm	370	136
	錐高 10cm	381	144
			326

いま, 表一三に示す実験結果について, 錐状キャッピングの場合の実験式を求めてみる。

モルタル配合 1:2 の場合；

$$\sigma_{my} = 331 + 0.2\beta$$

コンクリート A 配合の場合；

$$\sigma_{cy} = 114 + 0.18\beta$$

コンクリート B 配合の場合；

$$\sigma_{cy} = 308 + 0.20\beta$$

ここに、

$\beta$  = 錐状キャッピングの錐辺の傾角，度

#### 4. 破壊様相の考察

モルタルおよびコンクリートのような脆性物質は、材料固有の破壊特性の点よりして、滑り面にせん断破壊様相を示すもので、Navier は  $\tau =$  せん断応力度， $\tau_0 =$  内部摩擦のある一定量， $\mu =$  摩擦係数， $\tan \phi$ ，この  $\phi$  は摩擦角， $\sigma =$  せん断面に対する直応力度とするとき

$$|\tau| \geq |\tau_0| + \mu|\sigma|$$

上式の状態に入ると破壊が起り、このときの破壊角  $\theta$  は次式となる。

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}$$

また、 $P$  を供試体に対する圧縮荷重、 $A$  を供試体断面積とすると、次式が成立する。

$$\frac{P}{A} = 2\tau_0 \sqrt{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}$$

いま、 $\sigma_x = P/A$ ，また仮りに実験値との照査のため  $\tau_0$  は直応力の影響力を受けない直接せん断応力に等しいとみなすと、モルタル、コンクリートにては一般に  $\tau_0 = (1/4 \sim 1/5)\sigma_x$  と考えられるから、上式より  $\phi$  が求められ、従って  $\theta$  が得られる。

すなわち、

$$\phi = 36^\circ 53' \sim 46^\circ 25'$$

$$\theta = 63^\circ 27' \sim 68^\circ 13'$$

小型モルタル供試体の平層キャッピングの破壊角は、前実験結果によった下表中に示すように、計算値の平均値にほぼ一致する。

平層供試体		傾斜層供試体		錐状キャッピング供試体	
キャッピングの厚さ, mm	破壊傾斜角, 度	キャッピングの傾斜角, 度	破壊傾斜角, 度	錐辺傾斜角, 度	破壊傾斜角, 度
1	65	3	62	5	64
3	65	6	61	9	63.5
7	65			22	63

標準供試体になっても、モルタルは小形モルタル供試体の破壊角とほとんど同様であり、コンクリートは  $\sigma_{cy}$  が  $220 \text{ kg/cm}^2$  程度以下は  $\theta$  が  $63^\circ$  程度、 $220 \text{ kg/cm}^2$  以上は  $65^\circ$  程度でモルタル供試体と一致する。

さて、セメントペーストによるキャッピングの厚さが不規則に変化することは、供試体の微小面積の各部分の高さが変化することであり、当然強度は各部分により変るものと考えられる。

すなわち、いま図-2のように、供試体内に小柱を仮定すると、次式が成立する。

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

そして、この式は次式となる。

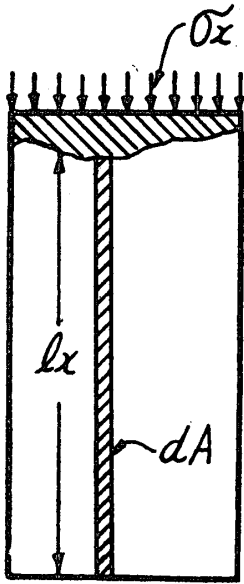
$$\sigma_x = \frac{n^2 \pi^2 EI}{lx^2}$$

式中、

$n$  = 柱の端条件による常数

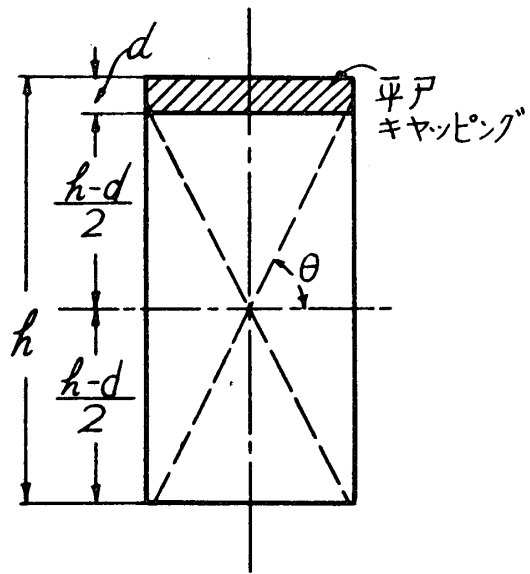
この式で  $lx$  が小であれば、 $\sigma_x$  は大きく、 $lx$  が大きければ  $\sigma_x$  は小さい荷重状態を意味し、供試体内の各部分の内応力に差違があることになる。

いま、破壊面の画方としては、供試体の断面中心において小柱の高さをとり、その高さの中央にて滑面を

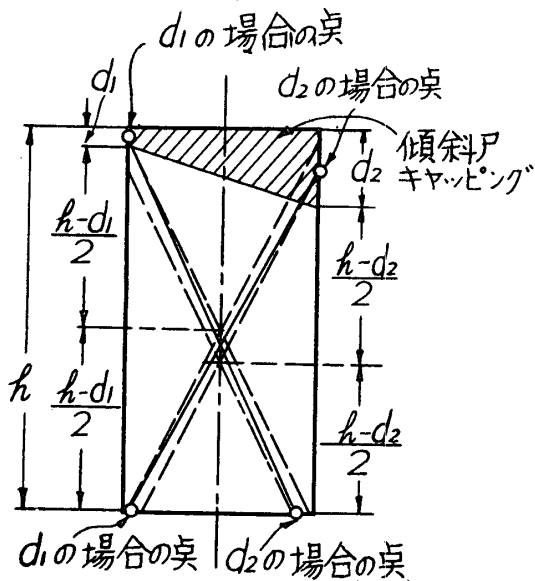


図一2 供試体内に小柱を仮定した状態

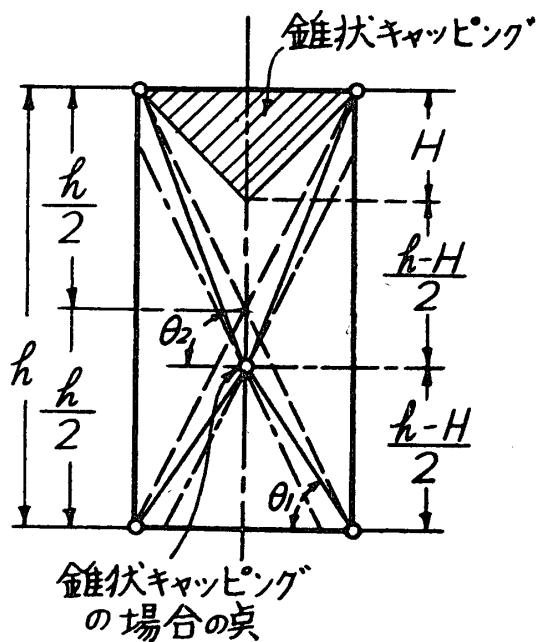
書き、仮定小柱断面の中心線位置との交叉点を求め、逐次結べば破壊面となる。この関係を平層、傾斜層、錐状キャッピング供試体について図解すると、図一3、4、5となる。



図一3 平層キャッピング供試体の破壊様相



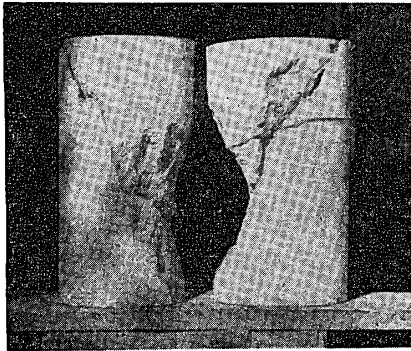
図一4 傾斜層キャッピング供試体の破壊様相



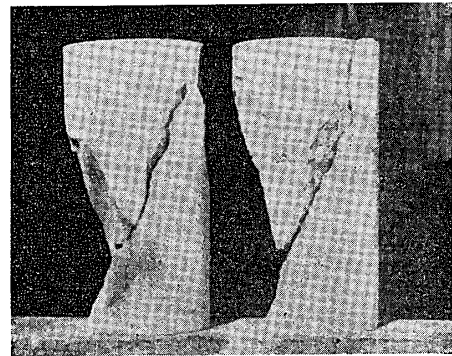
図一5 錐状キャッピング供試体の破壊様相

次に破壊角様相を写真で見ると次のようになる。

モルタル供試体に対しては、写真—4，5，6，7のごとくである。



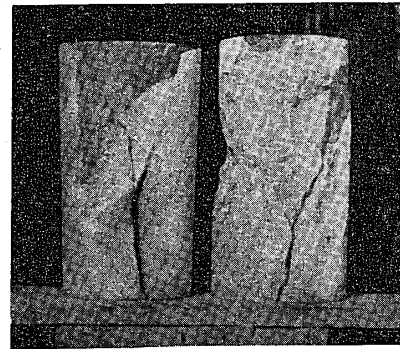
写真—4 平層キャッピング供試体の破壊様相



写真—5 錐状キャッピング供試体の破壊様相 (錐高5cm)

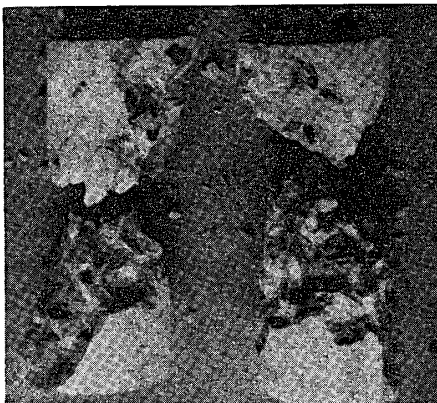


写真—6 錐状キャッピング供試体の破壊様相 (錐高10cm)

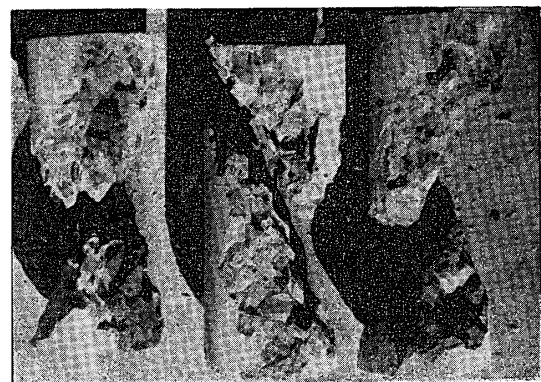


写真—7 錐状キャッピング供試体にて、写真—5，6と異なる破壊様相

コンクリート供試体に対しては、平層の場合は写真—4 とほとんど同様の傾向であるので、錐状キャッピングの場合を示すと、写真—8，9，10，11のごとくである。



写真—8 A配合，錐状キャッピング供試体の破壊様相 (錐高5cm)



写真—9 B配合，錐状キャッピング供試体の破壊様相 (錐高5cm)



写真—10 A配合, 錐状キャッピング供試体の破壊様相(錐高 10cm)



写真—11 B配合, 錐状キャッピング供試体の破壊様相(錐高 10cm)

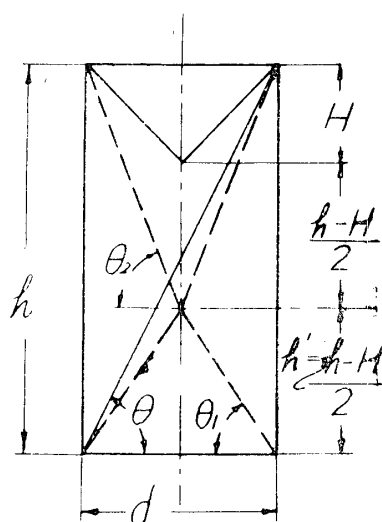
いま, 錐状供試体について図—5に示す破壊角  $\theta_1, \theta_2$  を測定してみると, 表—4のごとくなる。

表 — 4

	錐状キャッピング (錐高 5cm)		錐状キャッピング (錐高 10cm)	
	$\theta_1$ , 度	$\theta_2$ , 度	$\theta_1$ , 度	$\theta_2$ , 度
モルタル, 配合 1:2	59	68	55	70
コンクリート, A配合	59	69	55	69
コンクリート, B配合	58	65	54	69

図—5の破壊様相は, 供試体中心部では錐頂の破壊面となり, 側面部ではキャッピングの最も薄い場合の破壊面となり, その中間部はキャッピングが一次変化であれば, その破壊面も一次的に変化することになると解釈できる。この錐状キャッピングの傾斜角

$\theta_1, \theta_2$  を式で表わすために, 図—6について吟味する。



図—6 錐状キャッピング供試体の破壊  $\theta_1, \theta_2$  の関係

錐高 5cm の場合;  $\theta_1 = 59^\circ 8', \theta_2 = 66^\circ 51'$   
 錐高 10cm の場合;  $\theta_1 = 53^\circ 15', \theta_2 = 69^\circ 30'$

いま, 供試体(薄い平層のもの)の破壊は, 隅角付近を通りその破壊角が図中の  $\theta$  をなすものと仮定する。しかるときは

$$h' = \frac{d}{2} \tan \theta - \frac{H}{2}, \quad h' = \frac{d}{2} \tan \theta_1$$

$$\tan \theta_1 = \tan \theta - \frac{H}{d} \quad (a)$$

$$\tan \theta_2 = \tan \theta + \frac{H}{d} \quad (b)$$

(a), (b) 式に  $\theta = \pi/4 + \phi/2$  の値を代入すると

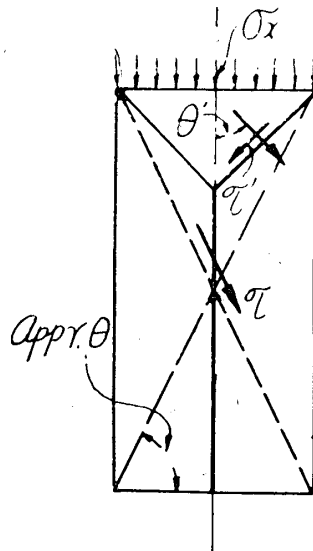
$$\tan \theta_1 = \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - \frac{H}{d} \quad (1)$$

$$\tan \theta_2 = \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) + \frac{H}{d} \quad (2)$$

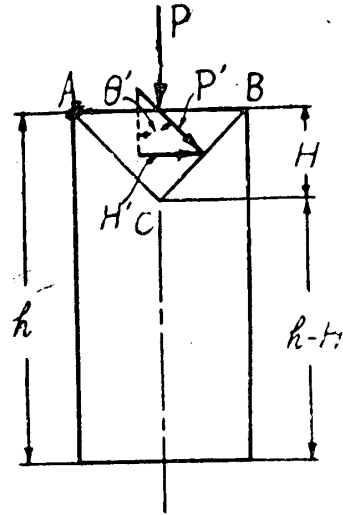
前記のように,  $\phi$  の最小仮定値を用いた場合には,  $\theta$  は  $63^\circ 27'$  であるが, いま  $63.5^\circ$  とすると

この値は実験結果である表一4に比べると、ほぼ一致することになる。

しかるに、上記の破壊様相によることなく、写真一7、左供試体に示すようなものが、モルタル供試体などにはまま見うけられる。この破壊現象は圧力円錐による楔作用と考えられているので、前述のようにモルタル、コンクリートの錐状キャッピングの各種供試体について実験したところ、コンクリートに対してはほとんどこの破壊様相はおこらず、モルタル供試体においておこりうるのであるが、これに対して図一7、8の両場合が破壊機構として考えられる。



図一7  $\tau, \tau'$  による作用を考えた場合



図一8  $H'$  による横方向力の作用を考えた場合

図一7のように錐辺と供試体コンクリートとの境界面にせん断応力度  $\tau'$  が、コンクリート自身のせん断応力度  $\tau$  より大きい場合に生ずるものとの考え方が成立つ。すなわち

$$\begin{aligned}\tau &= \sigma_x \sin \theta \cos \theta \\ \tau' &= \sigma_x \sin \theta' \cos \theta' \\ \tau' &> \tau\end{aligned}$$

この場合は、 $\tau'$  はほぼ供試体中心線にせん断応力度と変り、垂直に近く破壊するものと解釈できる。

また、図一8のように  $H'$  が働き、供試体の横方向の張力の不足による、破壊様相の場合も考えられる。

いま、 $P'$  = 錐辺に垂直に働く力

$H' = P'$  の水平分力

とすると

$$P' = P \sin (90^\circ - \theta')$$

$$H' = P \frac{1}{2} \sin 2 \theta'$$

供試体の直径を  $d$  とするとき、 $CD$  面に働く応力度を  $\sigma_{ci}'$  とすると

$$\sigma_{ci}' = \frac{P \frac{1}{2} \sin 2 \theta'}{d(h-H)}$$



いま、塑性時のコンクリートのポアソン数はほぼ4程度と考えても差支えない。この場合のコンクリートの引張応力を  $\sigma_{ct}$  とすると

$$\sigma_{ct} = \frac{P}{mA}$$

ここに、

$m$  = 塑性時のコンクリートのポアソン数

$A$  = 供試体の水平断面積

すなわち、

$$\sigma_{ct}' > \sigma_{ct}$$

この場合に、ほぼ垂直面に近く破壊するものと考えられる。

いま、一般の平層キャッピングした供試体が、楔作用にて錐高 10cm の錐状キャッピングをしたのと同じ結果があるものとする。この場合、 $\theta$  を前記のように  $63^\circ 30'$ 、 $m$  を4とすれば、ただし  $\theta'$  は  $53^\circ 8'$  となり

$$\tau = 0.395\sigma_x, \quad \tau' = 0.480\sigma_x$$

$$\therefore \tau < \tau'$$

また、

$$\sigma_{ct}' = \frac{0.48P}{20 \times 15} = \frac{P}{627}$$

$$\sigma_{ct} = \frac{P}{4 \times 176.7} = \frac{P}{707}$$

$$\therefore \sigma_{ct} < \sigma_{ct}'$$

何れにしても、錐高 10cm の場合は垂直に近く破壊する傾向となる。これはモルタル供試体の場合で、コンクリート供試体は粗骨材のかみ合せなどのためか、垂直破壊を呈さないことが多い。

## 結 言

供試体の破壊様相におよぼす原因の一つとしてキャッピングの厚さ、形状の影響を実験にもとづいて考察した結果、次のことがらを認めた。

- (1) モルタルおよびコンクリートの標準型供試体の破壊角は  $63^\circ \sim 68^\circ$  程度の計算値となるが、実験値も一致する。すなわち、Navier の破壊理論が認められる。
- (2) キャッピングの厚さおよび形状が異なれば、その破壊様相が変わる。特に錐状キャッピングになると、(1)、(2)式の  $\theta_1, \theta_2$  を示す傾向の供試体が多く、実験値もほぼそれに一致し、 $\theta_1, \theta_2$  は図式的にもとける。
- (3) モルタル供試体にては、錐状キャッピングの錐辺傾斜がほぼ  $50^\circ$  程度以上になると、荷重中心軸にそって垂直破壊を示す傾向も生ずる。
- (4) キャッピングなしということは、JIS A 1108 5 などのように他の影響が考えられ、また平層キャッピングの厚い場合とか錐状キャッピングの破壊強度に対する影響などの点より、キャッピングは平層にて下地表面は水平かつ滑かとして、できる限り薄く仕上げるべきである。

## 参 考 文 献

- 1) 本間清, コンクリート供試体の表面仕上げが圧縮強度に及ぼす影響について, 土木試験所月報, 北

海道開発局, 第24号, 1955.

- 2) S. Thaulow, Tensile Splitting Test and High Strength Concrete Test Cylinders, ACI. No. 7, 1957.