

# コンクリート実験レポート

## II. 硬化コンクリート試験

ゆり\* (@81suke\_)

実験日 2019/12/13(金)

## 1 目的

硬化コンクリートに関する試験方法を体得し、硬化コンクリートの物理的性質を説明できるようにする。

## 2 実験方法

以下の実験を行った。

### 2.1 一軸圧縮試験

JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 [2] に従った。

### 2.2 割裂引張試験

JIS A 1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法 [3] に従った。

### 2.3 超音波パルス試験

超音波パルス試験装置を用いて超音波伝播速度を測定し、動弾性係数を算出した。

### 2.4 シュミット・ハンマー試験

設計  $30\text{N/mm}^2$  のコンクリート部材に対し、シュミット・ハンマーによる試験を行い、圧縮強度を推定した。

### 2.5 コンクリート中性化の確認

長期間屋外に晒したコンクリート供試体とそうでない供試体にフェノールフタレイン溶液を加えて、変化の違いを観察した。

## 3 実験結果

### 3.1 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験結果は以下の通りとなった。JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 [2] に従い圧縮強度を、JIS A 1149 コンクリートの静弾性係数試験方法 [4] に従い静弾性係数を導出した。

圧縮強度  $f_c$  と静弾性係数  $E_c$  は以下の通りに定義される。

$$f_c = \frac{P}{S} = \frac{P}{\pi(\frac{d}{2})^2} \quad (1)$$

$f_c$ : 圧縮強度 [ $\text{N/mm}^2$ ]

$P$ : 最大荷重 [ $\text{N}$ ]

$d$ : 供試体直径 [ $\text{mm}$ ]

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$E_c$ :各供試体の静弾性係数 [kN/mm<sup>2</sup>]

$S_1$ :最大荷重の 1/3 に相当する応力 [N/mm<sup>2</sup>]

$S_2$ :供試体の縦ひずみが  $50 \times 10^{-6}$  のときの応力 [N/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon_1$ : $S_1$  の応力によって生じる供試体の縦ひずみ

$\varepsilon_2$ : $50 \times 10^{-6}$

この 2 式を用いて各値を算出すると下表**太字**の通りとなった。

### 3.1.1 C/W=1.5

Table 1: C/W=1.5 供試体の圧縮強度算出

	最大荷重 (N)	供試体直径 (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
group2	132900	100.15	16.88
group3	124000	100.01	15.78
average	128000	100.1	<b>16.3</b>

C/W=1.5 のときの供試体圧縮強度は **16.3**N/mm<sup>2</sup> となった。

Table 2: C/W=1.5 静弾性係数の導出

	$S_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )
group2	5.626	1.184	0.0002575	0.00005	21.40
group3	5.260	1.198	0.0002313	0.00005	22.41
average	5.443	1.191	0.0002444	0.00005	<b>21.9</b>

C/W=1.5 のときの静弾性係数は **21.9**kN/mm<sup>2</sup> となった。

### 3.1.2 C/W=2.0

Table 3: C/W=2.0 供試体の圧縮強度算出

	最大荷重 (N)	供試体直径 (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
group1	298200	100.23	37.80
group3	260900	99.84	33.33
average	280000	100.0	<b>35.6</b>

C/W=2.0 のときの供試体圧縮強度は **35.6**N/mm<sup>2</sup> となった。

Table 4: C/W=2.0 静弾性係数の導出

	$S_1(\text{N/mm}^2)$	$S_2(\text{N/mm}^2)$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$E_c(\text{kN/mm}^2)$
group1	12.60	1.473	0.0004860	0.00005	25.52
group3	11.11	1.476	0.0004127	0.00005	26.56
average	11.85	1.474	0.0004493	0.00005	<b>26.0</b>

C/W=2.0 のときの静弾性係数は **26.0kN/mm<sup>2</sup>** となった。

### 3.1.3 C/W=2.5

Table 5: C/W=2.5 供試体の圧縮強度算出

	最大荷重 (N)	供試体直径 (mm)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
group1	370200	100.10	47.04
group2	381800	100.25	48.38
group3	389800	100.05	49.59
average	381000	100.1	<b>48.3</b>

C/W=2.5 のときの供試体圧縮強度は **48.3N/mm<sup>2</sup>** となった。

Table 6: C/W=2.5 静弾性係数の導出

	$S_1(\text{N/mm}^2)$	$S_2(\text{N/mm}^2)$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$E_c(\text{kN/mm}^2)$
group1	15.68	1.609	0.0005225	0.00005	29.78
group2	16.13	1.366	0.0007174	0.00005	22.12
group3	16.53	1.677	0.0005862	0.00005	27.70
average	16.11	1.551	0.0006087	0.00005	<b>26.5</b>

C/W=2.5 のときの静弾性係数は **26.5kN/mm<sup>2</sup>** となった。

## 3.2 割裂引張試験

JIS A 1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法 [3] に従えば、割裂引張試験により得られるコンクリートの引張強度  $f_t$  は以下の式で表すことができる。

$$f_t = \frac{2P}{\pi dl} \quad (3)$$

$f_t$ :引張強度 [N/mm<sup>2</sup>]

$P$ :最大荷重 [N]

$d$ :供試体直径 [mm]

$l$ :供試体長さ (試験後)[mm]

上式により供試体引張強度を算出すると以下**太字**の通りとなった。

### 3.2.1 C/W=1.5

Table 7: C/W=1.5 供試体引張試験結果

	$P(\text{N})$	$d(\text{mm})$	$l(\text{mm})$	$f_t(\text{N}/\text{mm}^2)$
group1	41360	100.1	150.8	1.745
group2	42830	99.9	150.3	1.815
group3	45860	100.0	149.3	1.956
average	43350	100.0	150.1	<b>1.84</b>

C/W=1.5 のときの供試体引張強度は **1.84**N/mm<sup>2</sup> となった。

### 3.2.2 C/W=2.0

Table 8: C/W=2.0 供試体引張試験結果

	$P(\text{N})$	$d(\text{mm})$	$l(\text{mm})$	$f_t(\text{N}/\text{mm}^2)$
group1	68210	100.2	150.4	2.883
group2	54780	99.8	149.7	2.335
group3	68110	99.9	150.0	2.893
average	63700	99.95	150.0	<b>2.70</b>

C/W=2.0 のときの供試体引張強度は **2.70**N/mm<sup>2</sup> となった。

### 3.2.3 C/W=2.5

Table 9: C/W=2.5 供試体引張試験結果

	$P(\text{N})$	$d(\text{mm})$	$l(\text{mm})$	$f_t(\text{N}/\text{mm}^2)$
group1	68010	100.3	150.1	2.877
group2	69970	99.5	150.2	2.981
group3	70560	99.9	151.9	2.961
average	69510	99.88	150.7	<b>2.94</b>

C/W=2.5 のときの供試体引張強度は **2.94**N/mm<sup>2</sup> となった。

## 3.3 超音波パルス試験

超音波パルス試験により動弾性係数を算出する。動弾性係数  $E_d$  は以下の式により求められる。[5]

$$E_d = \rho V^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \times 10^{-6} \quad (4)$$

$E_d$ :動弾性係数 [kN/mm<sup>2</sup>]  
 $\rho$ :密度 [kg/mm<sup>3</sup>]  
 $V$ :縦波弾性波速度 [mm/s]  
 $\nu$ :ポアソン比

上式に従って動弾性係数を求めると、下表の通りとなった。

Table 10: 超音波パルス試験結果

C/W	時間 ( $\mu$ s)	速度 (m/s)	動弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
1.5	37.5	5258	<b>56.2</b>
2.0	36.3	5380	<b>60.3</b>
2.5	35.9	5521	<b>63.7</b>

### 3.4 シュミット・ハンマー試験

シュミット・ハンマー試験を行った結果得られた推定圧縮強度は **29.1N/mm<sup>2</sup>** となった。

### 3.5 コンクリート中性化の確認



Figure 1: コンクリートにフェノールフタレイン溶液を吹き付けた結果

通常の屋外に晒していないコンクリートはフェノールフタレイン溶液を吹き付けると赤紫色に変色した。一般のコンクリートがアルカリ性を帯びているのが確認できた。一方で屋外に晒したコンクリートはフェノールフタレイン溶液を吹き付けても変色しなかった。このため屋外に晒した結果、コンクリートの液性がアルカリ性から中性（もしくは酸性）に変化したことになる。

## 4 考察

### 4.1 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験によって得られた圧縮強度が Lyse のセメント水比に従うか検証する。

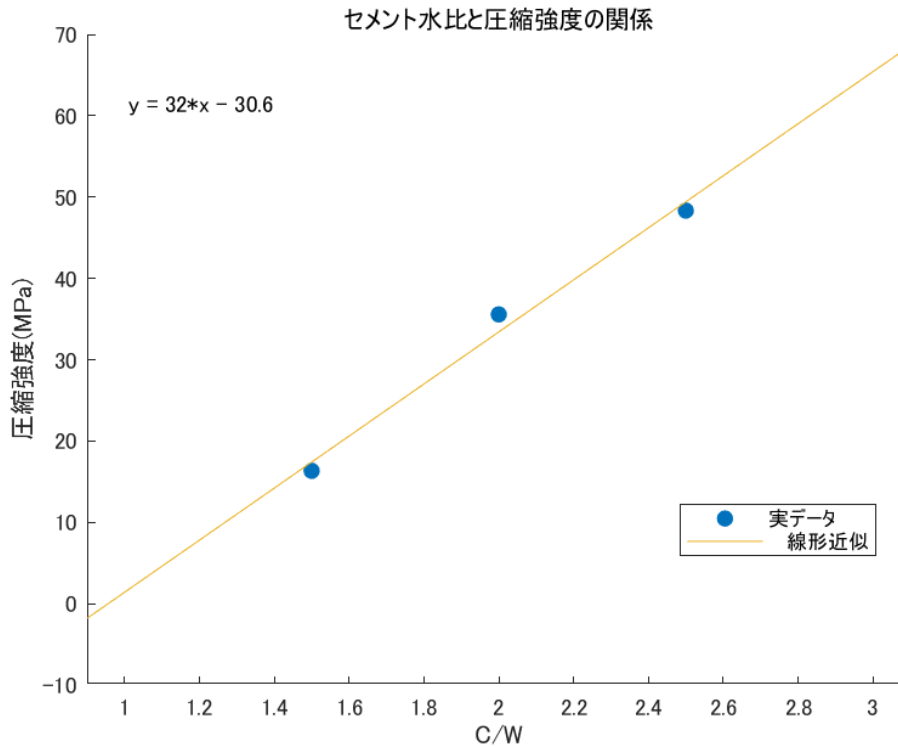


Figure 2: セメント水比と圧縮強度の関係

上図から圧縮強度はセメント水比についての一次関数とおおよそいえるため、セメント水比に従っているように見える。なお、完全にセメント水比に従うとした場合、圧縮強度  $f_c$  はコンクリート材料 [1]<sup>1</sup>によると以下で表される。

$$f_c = A + B \times C/W \quad (5)$$

このときグラフより  $A = -30.6$ 、 $B = 32.0$  となった。

また、コンプレッソメーターで測定したひずみ<sup>2</sup>をもとに応力-ひずみ曲線を描くと下図のようになった。

<sup>1</sup>p.109 参照のこと。

<sup>2</sup>コンプレッソメーターには変位計が 2 箇所ついており、今回は 2 つのひずみ値の平均をとった。

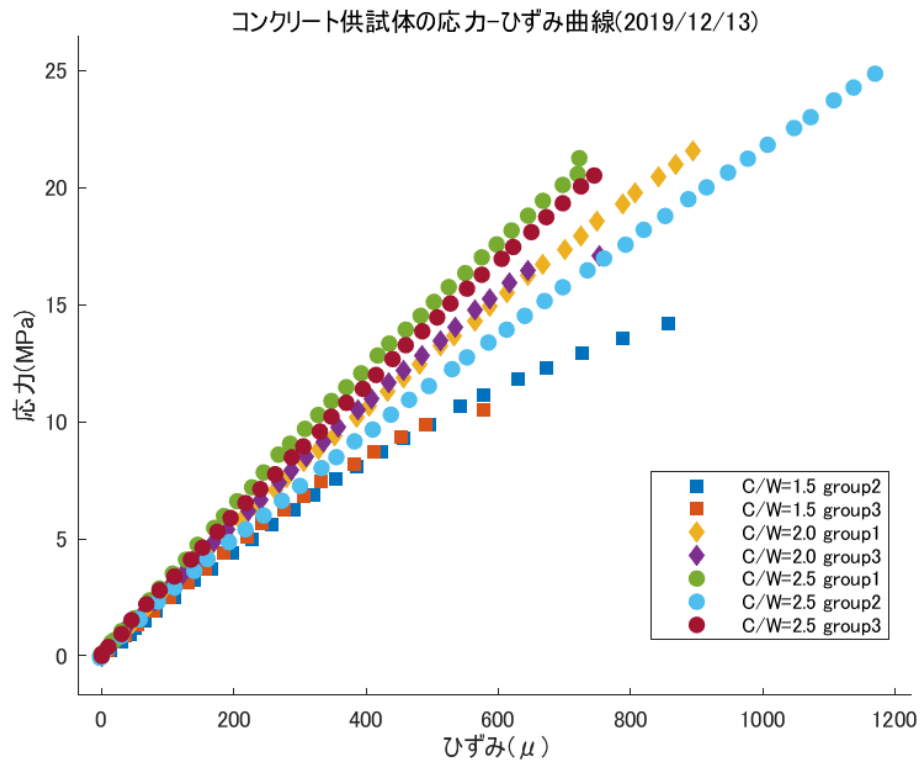


Figure 3: 一軸圧縮試験でのコンクリート供試体応力-ひずみ曲線

C/W=1.5についてはコンクリート材料[1]p.93にあるとおりの曲線が得られたが、C/W=2.0,2.5の場合については直線に近い。これはセメントが十分多いために、ひずみに影響する因子がモルタル分から骨材に変化したからであると推測できる。実際、C/W=2.5のときのグラフはコンクリート材料[1]p.92にあるグラフの粗骨材の $\sigma$ - $\varepsilon$ 曲線の振舞いに近い。

#### 4.2 割裂引張試験

引張強度は圧縮強度と相関性があるか調べる。セメント水比説に従い圧縮強度がC/Wについて一次関数的に変化すると同じようにセメント水比C/Wと引張強度の関係が線形近似できるか考える。



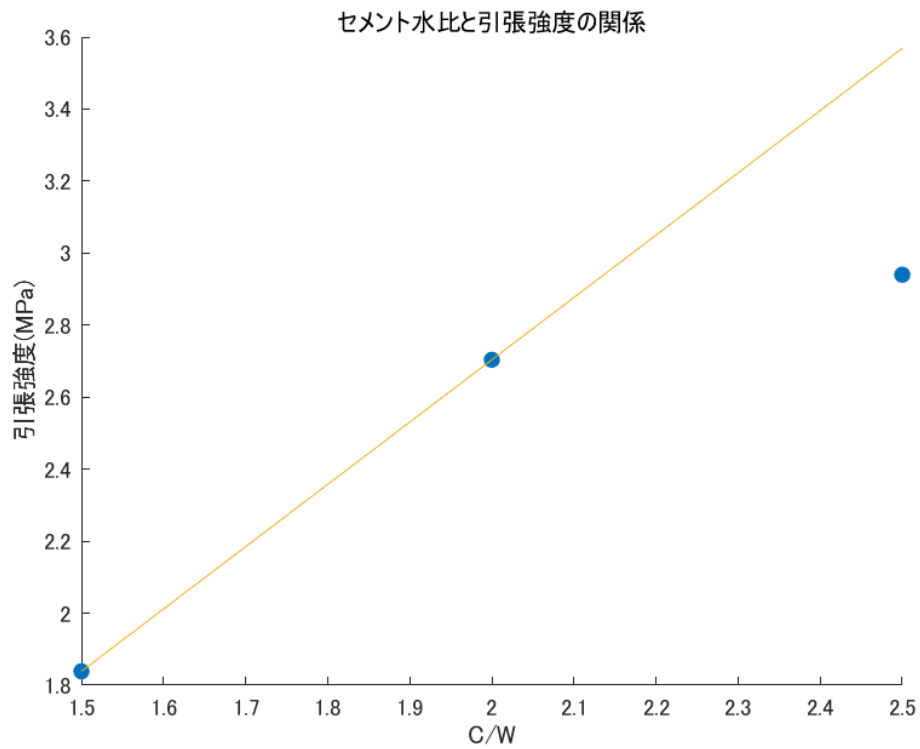


Figure 4: セメント水比と引張強度の関係

上図は  $C/W=1.5, 2.0, 2.5$  それぞれに対する引張強度の関係をグラフにしたものである。圧縮強度がそうであったように引張強度が  $C/W$  の一次関数として表されるならば、 $C/W=1.5, 2.0$  の点を通る線形曲線の上を  $C/W=2.5$  の点を通るはずである。しかし、 $C/W=2.5$  の点は直線よりはるか下の圧縮強度をとった。この原因を考える。

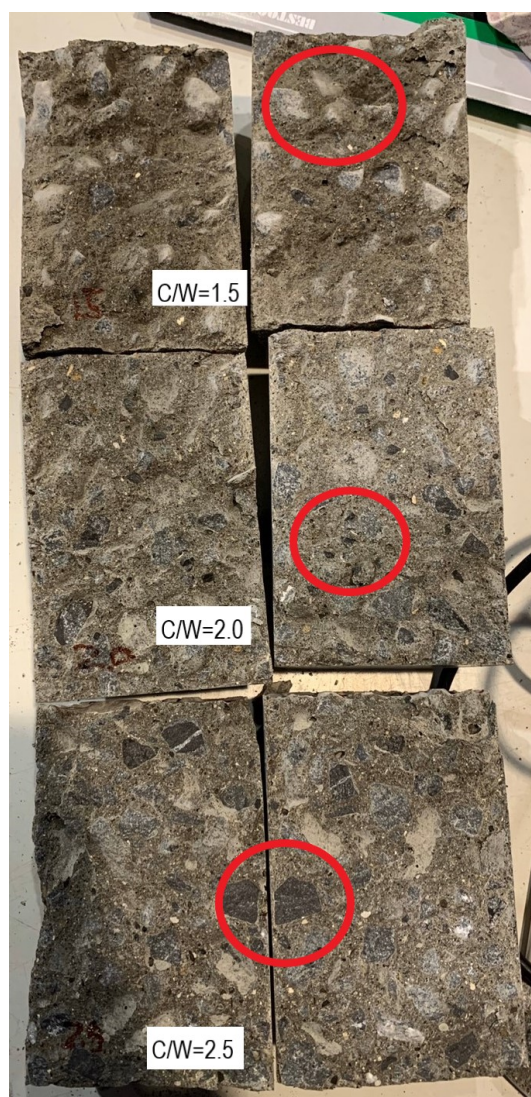


Figure 5: 割裂引張試験により破壊された供試体の断面

上図は引張破壊された供試体の断面である。観察したところ、 $C/W=1.5, 2.0$ の供試体は粗骨材がはっきり残っているため、セメント部分が乖離したと考えられる。一方で、 $C/W=2.5$ の供試体は骨材が割れているのが確認できる。セメントの量を多くする、つまり  $C/W$  を大きくすれば一般に引張強度は増大する。しかし骨材が応力に耐えられなくなるために、粗骨材量が同じ条件下ではある値以上の引張強度を持たせることは難しいことが確認できた。

### 4.3 超音波パルス試験

超音波パルス試験によって得られた動弾性係数は、圧縮試験により求めた静弾性係数のおおよそ倍の値をもった。これは、圧縮試験により求められるひずみが荷重によるクリープひずみも含むために同じ応力度に対してのひずみが大きいため、弾性係数が小さくなることに起因すると考えられる。

### 4.4 シュミット・ハンマー試験

設計強度は  $30\text{N/mm}^2$  より、測定値の誤差は  $-3.06\%$  である。反発度と強度の相関性に疑問が残ることに加え測定器の角度によっても大きく値が変化するので、精密な測定には不向きであるが、おおよその値を推定することはできた。

## 5 感想

今回の実験では、コンクリート供試体に対して様々な試験を行い挙動を体感することで、コンクリートの物理的性質をつかむことができた。また、今日現場で用いられている非破壊検査の手法も知ることができた。コンクリートはダイナミックながら、挙動は繊細であり興味深かった。

## References

- [1] 大即信明 宮里心一 コンクリート材料 朝倉書店 2003
- [2] JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法
- [3] JIS A 1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法
- [4] JIS A 1149 コンクリートの静弾性係数試験方法
- [5] 中村裕一 松本安喜 田中満 西村信孝 超音波パルス法によるコンクリートの非破壊試験 1989  
[http://data.jci-net.or.jp/data\\_pdf/11/011-01-1052.pdf](http://data.jci-net.or.jp/data_pdf/11/011-01-1052.pdf)