

## 一軸圧縮応力下のコンクリート中の粗骨材とモルタルの界面挙動に関する一考察

摂南大学大学院 学生員 ○田中 遼  
 摂南大学大学院 学生員 田中 達大  
 摂南大学 正会員 熊野 知司

## 1. はじめに

コンクリートの応力～ひずみ関係やクリープ等の変形挙動の予測技術を開発するためには、粗骨材とモルタルあるいは粗骨材とセメントペーストとの界面での挙動を明らかにすることが重要になる。本研究では粗骨材中に埋め込み型ひずみゲージを設置する手法を用いて粗骨材のひずみを測定するとともに、粗骨材とモルタル界面での挙動の考察を行った。本論文は一連の検討結果を報告するものである。

## 2. 実験概要

表-1 モルタルの配合

| W/C (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |      | 混和剤(C-%) |     | 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 |
|---------|-------------------------|------|------|----------|-----|---------------------------|----------------------------|-------|
|         | W                       | C    | S    | SP       | DF  |                           |                            |       |
| 30      | 318                     | 1060 | 916  | 1.06     | 0.4 | 79.0                      | 35.2                       | 0.226 |
| 40      | 318                     | 795  | 1140 | 0.79     |     | 58.6                      | 35.6                       | 0.234 |
| 50      | 318                     | 636  | 1272 | -        |     | 52.6                      | 26.5                       | 0.228 |
| 60      | 318                     | 530  | 1360 | -        |     | 36.9                      | 24.2                       | 0.231 |

セメントには普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm<sup>3</sup>，比表面積：3380cm<sup>2</sup>/g）を，細骨材には川砂（揖斐川産）（F.M.：2.56，密度：2.65g/cm<sup>3</sup>），粗骨材には砂岩（茨木産）（密度：2.69g/cm<sup>3</sup>，弾性係数：63.0kN/mm<sup>2</sup>，および石灰岩（伊吹産）（密度：2.69g/cm<sup>3</sup>，弾性係数：80.4kN/mm<sup>2</sup>）を使用した。表-1 にモルタルの配合を示す。W/C は，30%，40%，50%，60%の4水準とし，消泡剤（DF）を添加して空気量を1%以下にした。図-1 に供試体の模式図を示す。検長1mmのひずみゲージを埋め込んだ25mmの粗骨材を100×100×200mmの角柱供試体の中心に1個埋め込んで圧縮載荷試験を行った。圧縮載荷試験は，アムスラー型耐圧試験機により行い，粗骨材のひずみは検長1mmの埋込み型のひずみゲージにより測定し，コンクリート供試体のひずみは検長60mmのひずみゲージで測定を行った。

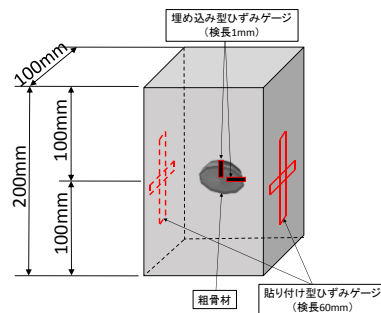


図-1 供試体の模式図

## 3. 結果および考察

図-2 および図-3 に応力～ひずみ関係を W/C=50% の場合を一例として示す。図-2 より，砂岩では応力が小さい範囲では，ある程度供試体の鉛直ひずみと粗骨材の鉛直ひずみは大差ないが，応力が増加すると供試体ひずみと粗骨材ひずみに差が生じ，粗骨材ひずみの方が小さくなった。一方，水平ひずみは低い応力から，供試体ひずみと粗骨材ひずみに差が生じた。図-3 より，石灰岩では，鉛直ひずみは載荷初期から，供試体ひずみと粗骨材ひずみに差が生じており，砂岩と比べるとその差は顕著である。それに対し，水平ひずみは高い応力まで供試体ひずみと粗骨材ひずみに差が生じなかった。

一方，破壊様式を観察すると，砂岩はモルタルと粗骨材の界面で付着破壊が生じていたのに対し，石灰岩は粗骨材自体が割裂している様子が観察された。本実験では，モルタルのポアソン比は W/C に関わらず，0.23 程度であり，一方，大内<sup>1)</sup>らによると砂岩のポアソン比は 0.20 程度，石灰岩のポアソン比は 0.28 程度である。このモルタルと粗骨材のポアソン比の違いがひずみ挙動や破壊形式に関係している可能性が考えられる。

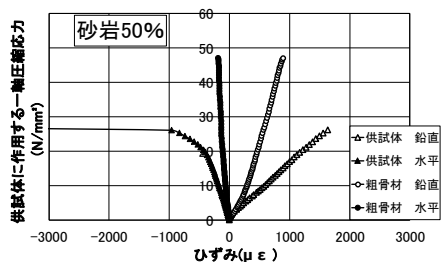


図-2 応力～ひずみ曲線（砂岩）

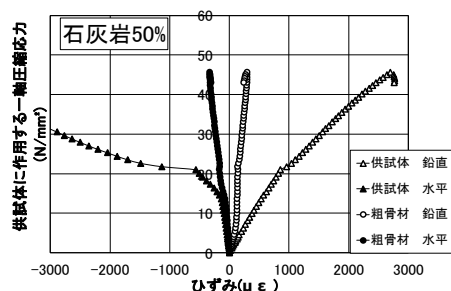


図-3 応力～ひずみ曲線（石灰岩）

キーワード 粗骨材，モルタル，付着挙動，破壊形式

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 田中 遼 TEL 072-839-9117

そこで、ポアソン比をパラメータとする粗骨材周りの応力大小関係の解析を行い、考察を行うことにした。

#### 4. 粗骨材周りの応力解析

式(1)に Goodier<sup>2)</sup> による球状介在物周りの半径方向応力度  $\sigma_{rr}$  を、式(2)に面外接線方向応力度  $\sigma_{\phi\phi}$  を示す。

$$\sigma_{rr} = 2E_m \left\{ \frac{2A}{r^3} - \frac{2v_m}{1-2v_m} \frac{C}{r^3} + 12 \frac{B}{r^5} + \left( -\frac{2(5-v_m)}{1-2v_m} \frac{C}{r^3} + 36 \frac{B}{r^5} \right) \cos 2\theta \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_{\phi\phi} = 2E_m \left\{ -\frac{A}{r^3} - \frac{2(1-v_m)}{1-2v_m} \frac{C}{r^3} - 9 \frac{B}{r^5} + \left( 3 \frac{C}{r^3} + 15 \frac{B}{r^5} \right) \cos 2\theta \right\} \quad (2)$$

$$\frac{A}{r_0^3} = -\frac{\sigma_c}{8Em(7-5v_m)E_m + (8-10v_m)E_g} \times \frac{(1-2v_g)(6-5v_m)2Em + (3+19v_g-20v_mv_g)}{(1-2v_g)2Em + (1+v_g)E_g} \\ + \frac{\sigma_0}{4Em} \frac{\left[ (1-v_m) \frac{1+v_g}{1+v_m} E_g - (1-2v_g)E_m \right]}{(1-2v_g)2Em + (1+v_g)E_g} \\ \frac{B}{r_0^5} = \frac{\sigma_c}{8Em(7-5v_m)E_m + (8-10v_m)E_g} \quad \frac{C}{r_0^3} = \frac{\sigma_c}{8Em(7-5v_m)E_m + (8-10v_m)E_g} \frac{5(1-2v_m)(E_m-E)}{8Em(7-5v_m)E_m + (8-10v_m)E_g}$$

ここに、 $\sigma_c$ ：供試体に作用する応力（引張が正）(N/mm<sup>2</sup>)、 $E_m$ ：モルタルの弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)、 $E_g$ ：粗骨材の弾性係数 (kN/mm<sup>2</sup>)、 $v_m$ ：モルタルのポアソン比、 $v_g$ ：粗骨材のポアソン比、 $r_0$ ：粗骨材の半径 (mm)。

図-4 および図-5 は、砂岩と石灰岩に対して骨材の極方向からの角度  $\theta$  と、モルタルと粗骨材界面における半径方向応力度  $\sigma_{rr}$  との関係を示したものである。図-4 より砂岩の場合は、供試体に作用する  $\sigma_c$  が低い段階から、 $\theta=90^\circ$  および  $270^\circ$  付近で、水平方向に引張応力が発生している。図中には、既往の研究<sup>3)</sup> による引張付着強度の値を示しているが、 $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$  では粗骨材とモルタルの引張付着強度を超える結果となった。一方、図-5 より石灰岩においては、 $90^\circ$ 、 $270^\circ$  方向に引張応力は発生しない結果となった。このことから、砂岩の場合に粗骨材とモルタル界面に付着破壊が生じる可能性があることが式-1 により説明できる。

図-6 および図-7 に骨材中心からの距離と面外接線方向応力度  $\sigma_{\phi\phi}$  との関係を示す。角度  $\theta$  は  $90^\circ$  である。図中には小島<sup>4)</sup> による砂岩と石灰岩の引張強度を示している。これらの図より、面外接線方向応力度  $\sigma_{\phi\phi}$  は砂岩より石灰岩の方が大きくなる傾向を示した。砂岩では  $\sigma_c=30\text{N/mm}^2$  に達しても砂岩の引張強度を下回っているが、石灰岩においては、中心から  $8\text{mm} \sim 9\text{mm}$  離れた粗骨材内部で、 $\sigma_c=20 \sim 30\text{N/mm}^2$  のとき、石灰岩の引張強度を超えることが推定された。石灰岩自体が割裂する破壊の様式となることに関しても式-2 により説明できるといえる。

#### <参考文献>

- 1) 大内千彦, 寺西浩司, 谷川恭雄: 粗骨材とモルタルの界面に発生する応力に関する一考察, 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.1~4, 2013.
- 2) Goodier, J. N. : Concentretion of Stress Around Spherical and Cylindrical Inclusions and Flaws, *Journal of Appl Mech*, Vol. 55, pp.39~44, 1933.
- 3) 田中遼, 熊野知司, 的場栄次: 一軸圧縮応力下の粗骨材とモルタルの付着ひずみに関する一考察, 土木学会全国大会第 72 回年次学術講演会, pp781~782, 2017.
- 4) 小島明, 鶴田昌宏, 中村秀三: 石灰石砕石を用いたコンクリートの強度特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.93~98, 2004.

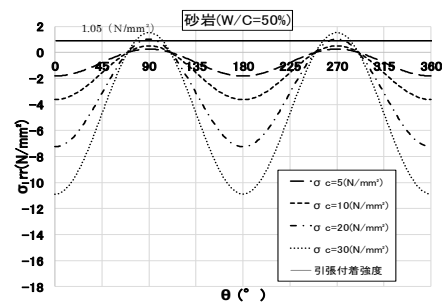


図-4 半径方向応力度  $\sigma_{rr}$  (砂岩)

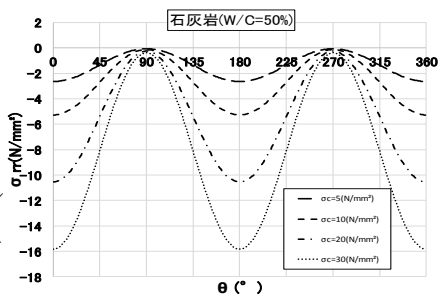


図-5 半径方向応力度  $\sigma_{rr}$  (石灰岩)

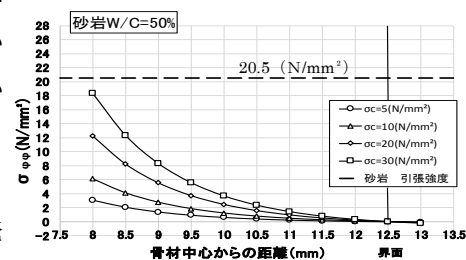


図-6 面外接線方向応力度  $\sigma_{\phi\phi}$  (砂岩)

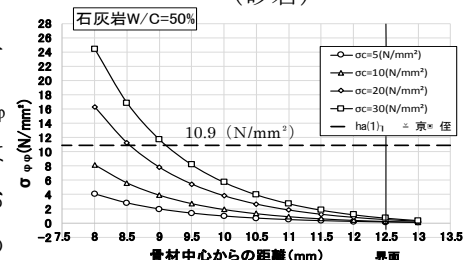


図-7 面外接線方向応力度  $\sigma_{\phi\phi}$  (石灰岩)