

高水圧作用下におけるモルタルの体積ひずみ挙動に関する研究

東京工業大学 学正会員 ○山口 慶祐
 東京工業大学 正会員 岩波 光保
 東京工業大学 正会員 中山 一秀

1. はじめに

日本の領海および排他的経済水域内には、海底資源が存在しており、調査および試掘が行われている。安定的に資源を採掘する場合、深海域でのインフラ整備が必要となり、汎用性の高い建設材料であるセメント系材料の適用が考えられる。また、洋上風力発電施設の建設では今後、深海域に基礎を設置し、アンカーとしてセメント系材料が使用されることが考えられる。このような背景から、深海環境下でのセメント系材料の挙動に関する研究が進められている^{1) 2) 3)}。

著者らは、劣化・損傷の原因の1つとして考えられている高水圧作用に着目して研究を行っている。本稿では、水圧作用下の体積ひずみの測定からモデル化について検討した結果を報告する。

2. 水圧作用下における体積ひずみの測定

2.1 実験概要

普通ポルトランドセメントを用いて水セメント比(以下、W/C)が0.3および0.7のモルタル供試体を作製した。供試体寸法をφ100mm×200mm、材齢を約90日とし、中心部にモールドひずみゲージを設置した。本実験で測定したひずみは、供試体に埋め込んだひずみゲージが等方圧を受けていたことから体積ひずみと言える。高水圧装置⁴⁾を用いて水深3000mに相当する30MPaの水圧を作用させた。

2.2 実験結果

水圧作用開始から10時間までの結果を図-1に示す。縦軸は圧縮ひずみを負とし、横軸は経過時間を表している。水圧作用開始から100分後に最大水圧30MPaに到達し、水圧は保持される。W/C=0.3のモルタル供試体は、水圧が一定になると同時に、増加していた圧縮ひずみも一定となった。一方で、W/C=0.7のモルタル供試体では、水圧が一定になると圧縮ひずみが小さくなるひずみの緩和挙動が見られた。さらに、水圧作用前後で水分の浸透量を測定した結果、ひずみの緩和挙動と水分

の浸透量には、相関関係があることが分かった。

3. 体積ひずみのモデル化に関する検討

3.1 モデル化の際の基本的な考え方

直方体や円柱などのモルタルの各面に等しい水圧 σ が作用している場合、モルタルを弾性体として仮定すると体積ひずみ ε_v は、式(1)で表される。この時、供試体は飽和している状態であり、ひずみ緩和が終了し、平衡状態にある体積ひずみを表している。

$$\varepsilon_v = \frac{\sigma'}{K} \quad (1)$$

σ' :モルタルに直接作用する水圧(有効応力)(MPa)

K :体積弾性係数(N/mm²)

次に、有効応力 σ' の算出について検討する。図-1より、ひずみの緩和量は水分の浸透量と相関関係にあったことから、水圧作用下のモルタルは、内部への水の浸透量が多いほどモルタル自体(以下、セメント骨格)が直接受ける応力は小さくなることが分かる。ここで、作用水圧 σ を受け持つ応力を浸透した水が負担する応力とセメント骨格が負担する応力の2つに分けると圧縮応力を正として、式(2)のように表すことができる。

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2)$$

σ :全応力(MPa) u :間隙水圧(MPa) σ' :有効応力(MPa)

式(2)は、一般に土質力学で用いられているTerzaghiの有効応力の原理であり、水圧作用下のモルタルの挙動に適用可能であるかを調べる必要がある。

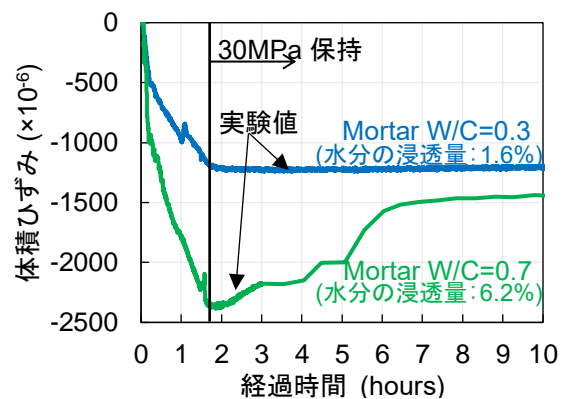


図-1 体積ひずみの実験結果

キーワード 高水圧, 体積ひずみ, 水分移動, 有効応力, 間隙水圧
 連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-21 TEL 03-5734-3194

表-1 提案式による試算の結果

	作用水圧 σ (MPa)	間隙率 n	補正係数 α	間隙水圧 u (MPa)	有効応力 σ' (MPa)	静弾性係数 E (MPa)	体積ひずみ ε_v ($\times 10^6$)
W/C=0.3	30	0.06	12	21.6	8.4	33000	-1273
W/C=0.7	30	0.17	4.5	22.9	7.1	25000	-1410

飽和した土およびモルタルに非排水条件下で等方的な水圧が作用した場合を想定し、体積変化の挙動を比較する。飽和した土の場合、内部には間隙が大きく、圧縮応力の大部分を間隙水圧が受け持ち、水の圧縮性は小さいため、体積変化も非常に小さくなる。一方でモルタルの場合、骨格同士は結合材(本実験ではセメント)で一体化されていることから、体積変化することが考えられる。土およびモルタルの体積変化に関する概念図を図-2に示す。

式(1)を用いて体積ひずみを算出するためには、式(2)により間隙水圧を算出する必要があるが、水圧作用下にある土とモルタルを想定し、体積変化の挙動を比較した結果、異なる現象が生じると考えられたことから、間隙水圧の算定式を新たに提案する必要がある。

3.2 提案式

水の浸透量が多いほど、ひずみの緩和量が大きくなる関係から、間隙水圧 u は間隙率 n の関数 $f(n)$ と作用水圧 σ を用いて式(3)で表せる。

$$u = f(n) \cdot \sigma \quad (3)$$

式(3)を式(2)に代入し、有効応力 σ' について整理すると式(4)が得られる。

$$\sigma' = \sigma(1 - f(n)) \quad (4)$$

ここで、 $f(n)$ を補正係数 α および間隙率 n を用いて式(5)で表す。補正係数 α は、水分の浸透に要する時間を考慮した係数である。

$$f(n) = \alpha \cdot n \quad (5)$$

3.3 体積ひずみの試算

W/C=0.3 および W/C=0.7 のモルタルに 30MPa の水圧が作用した場合を想定し、体積ひずみを試算した。間隙率 n には、水圧作用前後での水分の浸透量から算出された値を代入した。モルタルの圧縮強度を W/C=0.3, W/C=0.7 の場合でそれぞれ 50N/mm², 24 N/mm² と仮定して、コンクリート標準示方書(設計編)に示されている式を用いて静弾性係数を求めた。試算に用いたパラメータおよび算出された体積ひずみの結果を表-1に示す。体積ひずみの値は、W/C=0.3, W/C=0.7 とともに実験結果の図-1と概ね一致していることが分かる。

今後の課題として、試算で用いた補正係数 α は実験結

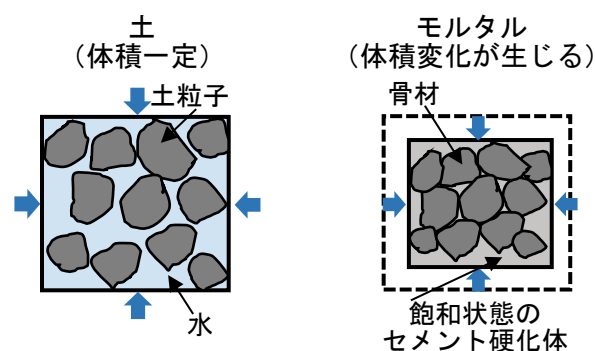


図-2 飽和した土およびモルタルに非排水条件下で圧縮応力が作用した場合の体積変化の違い

果と一致するよう合わせた値であるため補正係数 α の妥当性を検証する必要がある。また、供試体の寸法と体積ひずみの関係を明らかにする必要がある。一方、式(3)に用いた間隙率 n は、水の浸透量とひずみの緩和量の関係をモデル化できるパラメータであることから、補正係数 α の妥当性および供試体の寸法による影響を明らかにすることで、水圧作用下のモルタルの体積ひずみを精度よく求めることができると考えられる。

4. まとめ

水圧作用下のモルタルに生じた体積ひずみの緩和量と水分の浸透量との間で得られた相関関係を用いて、水圧作用下のモルタルの体積ひずみのモデル化について検討した。算出には、Terzaghiの有効応力の原理を基本に、間隙水圧がモルタルの間隙率 u の関数で表せるとして体積ひずみの算定式を提案した。提案式により、水圧作用下のモルタルの体積ひずみを算出できる可能性を示唆した。

参考文献

- 1) M. Kobayashi, et al.: Physicochemical properties of the Portland cement-based mortar exposed to deep seafloor conditions at a depth of 1680 m, Cement and Concrete Research, Vol.142, 106335, Jan.2021
- 2) 川端雄一郎ほか：深海底 3,515m に約 1 年間暴露したモルタルに生じた劣化・損傷の評価，第 74 回セメント技術大会講演要旨，2020
- 3) K. Takahashi, et al.: Action of Hydraulic Pressure on Portland Cement Mortars – Current Understanding and Related Progress of the First-Ever In-Situ Deep Sea Tests at a 3515 m Depth, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.19, pp.226-239, Mar.2021
- 4) 岩本大輝ほか：深海環境におけるコンクリートの物性変化に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会，V-419, 2021