

論文 モルタル中の含水状態が高水圧作用時のひずみ挙動に及ぼす影響

岩本 大輝*1・岩波 光保*2・中山 一秀*3

要旨：深海でのセメント系材料の利用に向け、高水圧作用を受けるモルタルのひずみ挙動の解明を目的として実験を行った。モルタル供試体に作用させる水圧の昇圧速度、作用回数を変化させる実験を行い、モルタル中の含水状態が高水圧作用時のひずみ挙動に及ぼす影響を調べた。その結果、初期より供試体内に水分が存在し、かつ水分移動速度よりも水圧の昇圧速度が速い場合、一定水圧作用時に圧縮ひずみの増加という挙動を示すことがわかった。また水圧の昇圧速度が水分移動よりも遅く、最大水圧への到達時に水分移動が完了していないと、圧縮ひずみの緩和が生じることがわかった。

キーワード：深海、高水圧、昇圧速度、含水状態、水分移動

1. はじめに

近年、世界ではエネルギー資源と鉱物資源の不足問題や地球温暖化問題が起きている。こういった問題の解決手段として深海の有効利用がある。深海は現在、エネルギー資源と鉱物資源の獲得地や、二酸化炭素の回収・貯留場所として注目を浴びている。深海を安全かつ効率的に利用するための海上プラントを建設する際には、深海に基礎などの建設物を建てる必要がある。しかし、深海は高水圧作用環境、低温環境、炭酸カルシウムが溶解してしまう環境、特殊な生態系の環境であり、建設材料にとって厳しい環境である。そのような厳しい環境で使用する材料として、セメント系材料が注目を浴びている。

セメント系材料を深海環境で使用するために、深海環境におけるセメント系材料の挙動について、さまざまな研究が行われている。小林ら¹⁾によって行われたモルタルを深海底 1680m に 608 日間暴露する実地検証では、深海底での暴露によって、モルタルの物理的特性が著しく低下することが報告されている。また、このような劣化の要因の一つとして、高橋ら²⁾の実験で深海底での低海水温環境が影響していることが報告されている。

一方で、高水圧の影響として堀ら³⁾のモルタル供試体に水圧 50MPa を作用させる実験より、50MPa の水圧作用直後に体積ひずみは収縮方向に増加し、時間経過に伴い変化量が漸減し、その後体積ひずみが膨張方向に転じることが報告されている。さらに Takahashi ら⁴⁾の実験では、水の浸透とともに体積ひずみが緩和する現象が観察され、その現象は Terzaghi の有効応力の原理によって説明されることが考えられている。また山口ら⁵⁾は、圧縮ひずみの緩和挙動の緩和量は水分浸透が多いほど大きくなることを報告している。このように高水圧作用によるセメント系材料のひずみ挙動は、空隙内の水分が大きく

影響することがわかるが、まだ研究事例が少なく詳細が明らかになっていない。そこで本研究ではモルタル中の含水状態が高水圧作用時のひずみ挙動にどのような影響を与えるかを調べた。

2. 水圧上昇速度と作用回数のひずみ挙動への影響

2.1 実験概要

(1) モルタル配合および供試体作製

本実験で使用したモルタルの配合を表-1 に示す。水セメント比（以下 W/C）に応じて水圧作用時のひずみ挙動は異なることがわかっている。そこで、W/C=0.3 と W/C=0.7 の 2 種類の配合を用いて供試体を作製した。この配合は先行研究⁵⁾と同じ配合を用いており、W/C の大小の影響をみるために、W/C=0.3 と W/C=0.7 において骨材とセメントペーストの体積比が同一となるような配合設計が行われている。セメントには普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³、比表面積 3140cm²/g）を使用し、細骨材には東京都八王子市美山町産砕砂（表乾密度：2.65g/cm³、粗粒率：3.03）を用いた。

本実験では、3 章にて後述する水圧作用によるモルタルの損傷程度を評価できるよう、高水圧載荷装置⁶⁾の水槽に入り、かつ圧縮試験が行える寸法 Φ50×100mm の円柱供試体を作製した。水圧作用中のひずみを測定するために、打設前に Φ50×100mm の円柱型枠中心部にモール

表-1 モルタルの配合

W/C	単位量 (kg/m ³)			単位量 (C×%)		
	W	C	S	A1*1	A2*2	A3*3
0.3	278	926	1004	2.0	0.05	-
0.7	393	562	1004	-	0.5	0.05

*1：高性能減水剤，2：増粘剤，3：消泡剤

*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系土木工学コース (学生会員)

*2 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系土木工学コース教授 博(工) (正会員)

*3 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系土木工学コース助教 博(工) (正会員)

ドひずみゲージをテグスで固定し、供試体に埋め込んだ。水圧作用後に供試体断面を確認したところモールドひずみゲージとモルタルの界面に破壊が生じていないことを確認した。このひずみゲージのリード線とデータロガーを、高水圧装置のリード線を介して接続し、昇圧過程と降圧過程では1秒毎、一定水圧作用過程では10秒毎に測定を行った。水圧作用時のモルタルのひずみデータの測定は各水圧作用パターンで3体ずつ行った。供試体の概要を図-1に示す。

打設後1日目に脱型し、水中養生を行った。高水圧装置で同時に実験可能な供試体数には限りがあり、載荷時の供試体材齢を統一できない。そこで材齢による実験結果の差が出ないように約90日間の長期養生を実施した。

(2) 水圧作用条件

高水圧載荷装置を用いて供試体に水圧を作用させた。水圧の作用パターンを表-2に示す。今回の試験では5つの水圧作用パターンで供試体に水圧を作用させた。ここで凡例のSの後の数字は昇圧速度(MPa/min)を表している。S9, S0.01はそれぞれ高水圧載荷装置で行える昇圧の最大速度9MPa/minと最小速度0.01MPa/minで水圧を作用させた。S0.3は既往研究⁵⁾と同じ速度の0.3MPa/minで水圧を作用させた。S9re-1はS0.3を水圧徐圧後に7日間水中に静置した後に水圧作用させたものを用い、S9re-2はS9re-1を徐圧後1時間水中に静置したものを用いた。降圧速度9MPa/min、最大水圧30MPa、最大水圧保持時間24時間で統一して行った。また、水圧徐圧後1時間そのまま水中に放置した。ここで水圧30MPaは水深3000mにおける水圧に相当する。

(3) 質量測定方法

養生していた供試体を水中から取り出し、供試体表面についた水分を拭き取った後、測定した質量を水圧作用前の質量とした。また水圧を徐圧し、水中に1時間静置後、供試体表面についた水分を拭き取り、測定した質量を水圧作用後の質量とした。

2.2 実験結果

(1) 水圧作用時のモルタルのひずみ挙動

水圧上昇時のモルタルのひずみ挙動は供試体によって少しのばらつきはあったが同じ昇圧速度では同様の傾向が得られた。水圧とひずみの関係を図-2、図-3に示す。このひずみデータはそれぞれ3体計測した内の1つのデータ用いている。図-2より、W/C=0.3では昇圧速度や水圧作用回数に関わらず、水圧とひずみの関係はほぼ同じになった。それに対し図-3より、W/C=0.7では昇圧速度や水圧作用回数によって水圧とひずみの関係は大きく異なった。昇圧速度の違いの観点から比較すると、S9とS0.3では昇圧時、ひずみ挙動の差は小さいが、S0.01では昇圧時に11.5MPa付近で圧縮ひずみが緩和した。次

に作用回数の違いの観点から比較すると、S9とS9re-1を見ると0~10MPa付近での昇圧時の圧縮ひずみはS9re-1の方が大きくなった。そしてS9re-1とS9re-2を比較すると5MPaまで同じ挙動となるものの、5~30MPaまでS9re-2の圧縮ひずみがS9re-1に比べ小さくなった。

次に一定水圧作用時のモルタルのひずみ挙動は供試体によってばらつきがほぼなかった。最大水圧30MPaに到達後の一定水圧作用時のひずみと時間の関係を図-4、図-5に示す。このひずみデータはそれぞれ3体計測した内の1つのデータを用いている。図-4、図-5では、水圧30MPa到達時点のひずみを0とし、横軸は対数軸である。図-4より、W/C=0.3では、一定水圧作用時のひずみ挙動に少し差が生じた。昇圧速度の違いの観点から比較するとS9, S0.3, S0.01と昇圧速度が遅くなるにつれ、圧縮ひずみの増加量が減少した。水圧作用回数の違いの観点から比較すると、S9, S9re-1, S9re-2と水圧作用回数

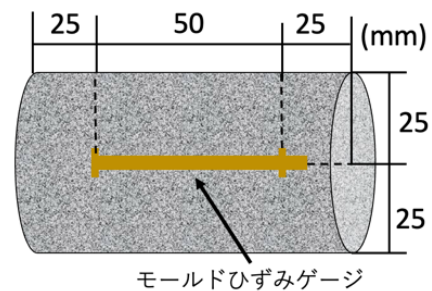


図-1 供試体の概要

表-2 水圧作用パターン

凡例	昇圧速度 (MPa/min)	最大水圧 (MPa)	累計水圧作用回数
S9	9	30	1
S0.3	0.3	30	1
S0.01	0.01	30	1
S9re-1	9	30	2
S9re-2	9	30	3

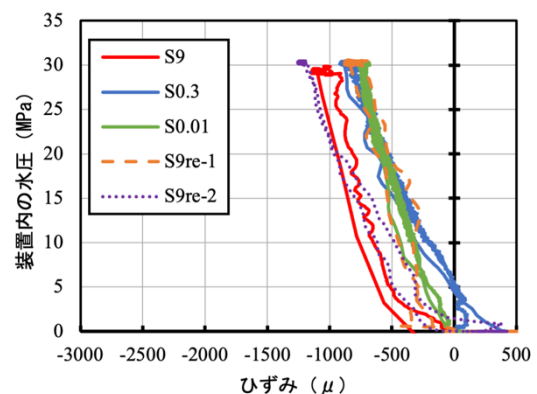


図-2 水圧とひずみの関係 (W/C=0.3)

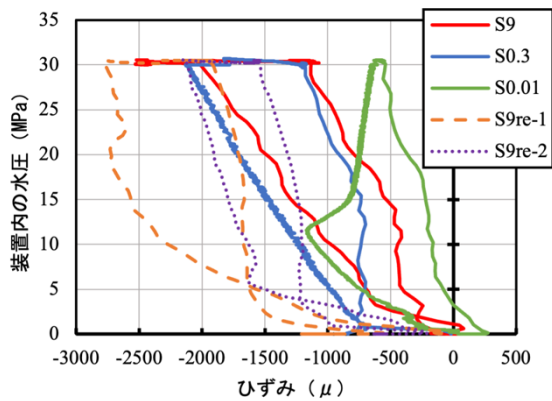


図-3 水圧とひずみの関係 (W/C=0.7)

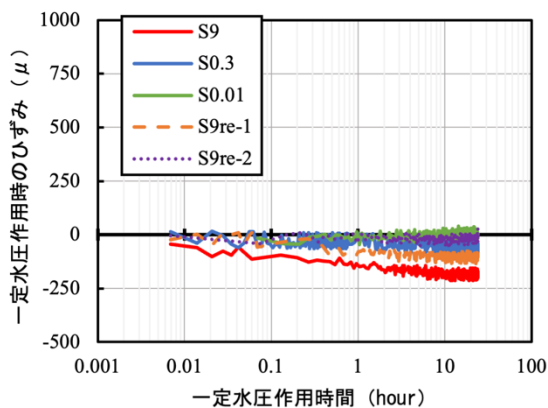


図-4 一定水圧作用時のひずみと時間の関係 (W/C=0.3)

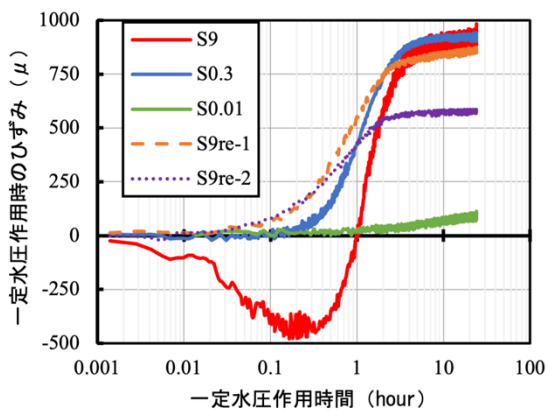


図-5 一定水圧作用時のひずみと時間の関係 (W/C=0.7)

表-3 水圧作用による質量増加率 (単位: %)

	S9	S0.3	S0.01	S9re-1	S9re-2
W/C=0.3	0.36	0.36	0.46	0.22	0.13
W/C=0.7	0.51	0.54	0.48	0.41	-0.04

が多くなるにつれて圧縮ひずみの増加量が減少した。図-5より、W/C=0.7では昇圧速度や水圧作用回数によって、一定水圧作用時のひずみ挙動が大きく異なった。昇圧速度の違いの観点から比較すると、S9でのみ圧縮ひず

みの増加という現象が見られた。また S9, S0.3, S0.01 と昇圧速度が遅くなるにつれ、圧縮ひずみの緩和量が小さくなり、S0.01 に関してはほとんどひずみの変化がなかった。水圧作用回数の違いの観点から比較すると、S9, S9re-1, S9re-2 と水圧作用回数が多くなるにつれ、最大圧縮ひずみからの圧縮ひずみの緩和量が減少していくことがわかる。

(2) 水圧作用前後における質量変化量

水圧作用による質量増加率を表-3 に示す。表-3 より、W/C=0.3 では水圧作用回数が2回目においても質量が増加したのに対し、W/C=0.7 では水圧作用回数が2回目で質量がほとんど変化しなかった。また W/C=0.3 を見ると、S9, S0.3 に比べて S0.01 が水圧作用による質量増加率が大きいことがわかる。

2.3 結果の考察

(1) W/C=0.7 のモルタルで水圧上昇時のひずみ挙動が昇圧速度と作用回数によって異なる原因の考察

考察するにあたって間隙水圧の上昇には①空隙の収縮による間隙水圧上昇 (以下メカニズム①) と②空隙内への水の流入による間隙水圧上昇 (以下メカニズム②) があると仮定する。メカニズム①は骨格の変形と釣り合いながら起こるので、圧縮ひずみの緩和には寄与しないが、メカニズム②は骨格の内側から新たに力が加わるため、圧縮ひずみの緩和に寄与する。そしてどちらの間隙水圧上昇メカニズムが支配的に起きていたかで水圧上昇時のひずみ挙動が異なるを考える。

どちらの間隙水圧上昇メカニズムが支配的に起きるかは、供試体内の水分移動速度と供試体の外部環境における水圧の昇圧速度の大小関係で決まると考えられる。供試体内の水分移動速度よりも供試体外環境における水圧の昇圧速度の方が速い場合、水の流入よりも骨格の変形の方が速く、メカニズム②よりメカニズム①が支配的になると考えられ、本実験では W/C=0.3 の供試体と W/C=0.7 の S9, S0.3, S9re-1, S9re-2 が該当する。それに対し、供試体外環境における水圧の昇圧速度よりも供試体内の水分移動の方が速い場合、骨格の変形より水の流入の方が速く、メカニズム①よりメカニズム②が支配的になると考えられ、本実験では W/C=0.7 の S0.01 が該当する。また W/C=0.7 の S0.01 において、11.5MPa で圧縮ひずみの緩和が発生し始めた原因として、水分が空隙を移動するのに必要な水圧が 11.5MPa 付近であることが考えられる。

(2) 一定水圧作用時のひずみ挙動が昇圧速度と作用回数によって異なる原因についての考察

一定水圧作用時の圧縮ひずみの変化の原因を考えるために供試体内と供試体外の水の状態を整理する。この考察を説明する上で供試体の状態を簡略的に表したもの

が図-6である。図-6において水圧 O は供試体外の水圧、水圧 A は供試体外と通じている空隙の水圧、水圧 B は供試体外とは直接繋がっていない空隙の水圧とする。そして状態 1 を $水圧O - 水圧A < |水圧A - 水圧B|$ 、状態 2 を $水圧O - 水圧A > |水圧A - 水圧B|$ 、状態 3 を $水圧O - 水圧A = |水圧A - 水圧B|$ とする。水圧差がある時、水圧差を無くそうと水が移動し、水圧差が大きいほど水分移動速度は速くなると仮定する。その場合、状態 1 の時は、供試体内での水分移動の方が供試体外からの水分移動よりも速くなり、圧縮ひずみが増加する。状態 2 の時は供試体外からの水の浸透の方が、供試体内での水分移動よりも速くなり、圧縮ひずみは緩和する。そして状態 3 では水分移動が生じず、供試体は定常状態になる。また水圧差を無くそうと水が移動するため、状態 1 → 状態 2 → 状態 3 と変化していくと考えられる。

供試体内の間隙水圧に大きな差がある時、状態 1 となる。そして間隙水圧の差は、供試体内での水分移動速度が供試体の外部環境における水圧の昇圧速度よりも遅いことによって生じると考えられる。供試体内の水分移動速度の方が遅い時、メカニズム②よりメカニズム①の方が支配的になる。メカニズム①により生じる間隙水圧では、モルタル中の空隙で個々に間隙水圧が上昇するため、空隙内の水の有無、空隙間での収縮性の差により、供試体内の空隙間で水圧差が生じやすい。また供試体内の水分移動が遅いと、メカニズム②が起きるところと起きないところができ、供試体内で間隙水圧の差が生まれる。今回の実験では、水分移動速度が遅い W/C=0.3 の供試体全パターンと供試体の外部環境における水圧の昇圧速度が速い W/C=0.7 の S9 で、最大水圧に到達時、状態 1 となり、圧縮ひずみの増加が見られたと考えられる。また状態 1 でも、W/C=0.3 の供試体では、昇圧速度が遅くなるほど、水圧作用回数が多いほど、最大水圧への到達時の含水率が高く、間隙水圧差が小さくなり、圧縮ひずみ

の増加が小さくなったと考えられる。

供試体内での間隙水圧の差より、間隙水圧と外部環境の水圧の差の方が大きい時、状態 2 となる。供試体内での水分移動がある程度起きているが、水分移動が完了していない時や状態 1 での水分移動が進んだ後に、状態 2 になる。今回の実験では、水分移動速度と比べ、ある程度水圧上昇速度が遅い W/C=0.7 の S0.3 や、表-3 より、水圧が以前作用していることで水分移動がある程度収束していると考えられる W/C=0.7 の S9re-1, S9re-2 で、最大水圧に到達時、状態 2 になり、圧縮ひずみの緩和が初めから起きたと考えられる。また水分移動速度と比べ、ある程度水圧上昇速度が遅いと昇圧時にメカニズム②が起きる。そのため W/C=0.7 の S0.3 では、水圧上昇時空隙が元々縮みにくく、W/C=0.7 の S9 に比べて緩和量が小さかったと考えられる。

水分移動が完了し、供試体内外で水圧差がない時、状態 3 となる。一定水圧作用時、水分移動が起きなければ、供試体内の間隙水圧は変わらず、圧縮ひずみは変化しない。今回の実験では、水分移動速度と比べ、水圧上昇速度が遅い S0.01 が状態 3 になっていたと考えられる。

(3) W/C=0.3 と W/C=0.7 でひずみ挙動が異なる原因についての考察

(1)の考察で、圧縮ひずみの緩和は毛細管空隙が寄与していると考えた。しかし、既往研究⁵⁾の結果より W/C=0.3 のモルタルにも毛細管空隙が存在するはずであり、毛細管空隙が圧縮ひずみの緩和に関与するとした場合、W/C=0.3 の供試体においても同様に圧縮ひずみの緩和が起きるはずである。W/C=0.3 のモルタルで圧縮ひずみの緩和が起きない原因として二つ考えた。

一つ目は水分移動速度の違いである。既往研究⁵⁾より、W/C=0.3 のモルタルの方が、W/C=0.7 のモルタルよりも水分の移動が遅いことがわかっている。表-3 より、繰り返し水圧を作用させた場合でも、W/C=0.3 の供試体中

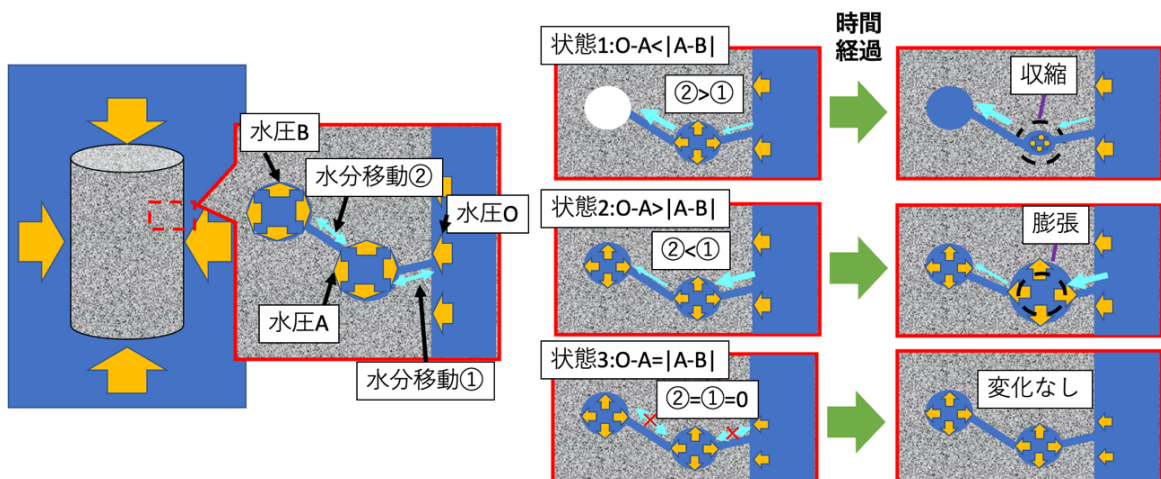


図-6 実験中に発生する水圧の簡略図

に水は浸透していき、水分移動が終わっていなかったことがわかる。これらより、昇圧速度 0.01MPa/min でも水分移動速度よりも供試体の外部環境における水圧の上昇の方が速く、圧縮ひずみの緩和が見られなかったと考えられる。

二つ目は強度の違いである。W/C=0.3 と W/C=0.7 のひずみの大きさを比較すると、W/C=0.7 の方が大きい。また圧縮強度は W/C=0.7 の方が小さい。これらより水圧作用時に、W/C=0.7 のモルタルでは、モルタルの骨格に損傷が生じた可能性がある。それに伴いモルタル内の空隙間が微細なひび割れで連結し、空隙間で水分が移動できるようになった可能性がある。それに対し W/C=0.3 のモルタルでは、水圧作用によるモルタル骨格の損傷が起きなかった、または起きたが空隙を繋げるほど微細なひび割れが生じなかったことで、空隙間で水分移動ができず、圧縮ひずみの緩和が起きなかったと考えられる。

3. 水圧上昇速度と作用回数のモルタル骨格への影響

3.1 実験概要

2. の結果より、水圧作用によってモルタル骨格に損傷が生じているかどうか、ひずみ挙動に影響を与える可能性が考えられた。そこで本実験では、供試体に水圧上昇速度と水圧作用回数を変えた水圧を作用させ、その後圧縮強度試験を行うことでモルタル骨格への損傷を評価した。

(1) モルタル配合および供試体制製

モルタルの配合と使用材料は 2. と同じものを用いた。本実験でも 2. と同様に寸法 $\Phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体制製した。打設後 1 日目に脱型し、その後約 90 日間水中養生を行った。

(2) 水圧作用条件

S9, S0.3, S0.01 は表-2 と同じである。新たに S0, S9re を追加した。S0 は水圧を作用させない健全な供試体である。また S9re は養生を終えた供試体に 2 度、昇圧速度 9MPa/min で水圧を作用させた供試体である。降圧速度は 9MPa/min, 最大水圧 30MPa, 最大水圧保持時間 24 時間で統一して行った。また、水圧徐圧後 1 時間そのまま水中に放置した。

3.2 実験結果

圧縮試験の結果を図-7、図-8 に示す。圧縮試験は各パターンで 4 体ずつ行い、静弾性係数の測定はそのうち 3 体のみ行った。W/C=0.3 のモルタルにおいて、昇圧速度の違いから図-7 を見ると、S9 では S0 に比べて 7.8% 強度が増加したのに対し、S0.3, S0.01% ではそれぞれ 0.1%, 0.9% の強度変化と変化が小さかった。また静弾性係数は S0 と比べ、S9, S0.3 ではそれぞれ 2.6%, 1.3% 減少したが、S0.01 では 1.7% 増加した。水圧作用回数の違

いから見ると、S0 に比べて S9re では強度が 8.7% 減少した。また静弾性係数は S0 に比べ、S9re では 0.3% の変化と変化が小さかった。

W/C=0.7 のモルタルにおいて、昇圧速度の違いから図-8 を見ると、S0 に比べ、S9, S0.3, S0.01 はそれぞれ 10.6%, 9.4%, 9.7% 強度が減少した。また静弾性係数は S0 に比べ、14.7%, 17.1%, 8.9% 減少した。水圧作用回数の違いから見ると、S0 に比べ、S9re では 4.6% の強度減少となり、作用回数が多いほど強度減少量が小さくなった。静弾性係数においても、S0 に比べ、S9re では 12.1% と作用回数が多いほど減少量が小さくなった。

3.3 結果の考察

(1) 水セメント比の違いによる影響

S9, S0.3, S0.01 の実験パターンを見ると、W/C=0.3 では水圧作用により圧縮強度が減少しなかった。また静弾性係数は最大でも 2.6% の減少で、水圧作用による変化が小さかった。それに対し、W/C=0.7 では水圧作用により S0 と比べて圧縮強度が最小でも 9.4% 減少し、静弾性係数は最小でも 14.7% 減少した。W/C=0.7 の方が W/C=0.3 よりも水圧作用により大きく損傷しており、これより 2.3 の (3) で行った考察の二つ目を後押しする結果となった。しかし、水が移動したことで損傷したのか、損傷したことで水が移動したのかは分からず完全に肯定することはできない。

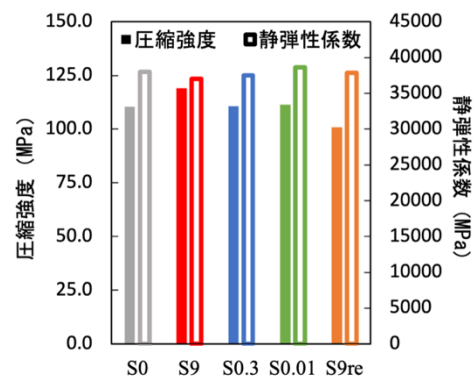


図-7 圧縮強度と静弾性係数 (W/C=0.3)

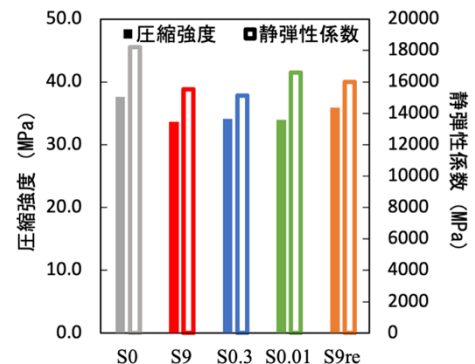


図-8 圧縮強度と静弾性係数 (W/C=0.7)

(2)昇圧速度・水圧作用回数の影響

まず W/C=0.3 の考察を行う。昇圧速度の違いによる変化を見ると、S9 に比べて S0.3, S0.01 の強度変化が小さい。さらに昇圧速度が遅いほど静弾性係数の減少量は小さくなり S0.01 では減少が起きず増加した。S9 は水が空隙に入るよりも速く、水圧がかかったことにより空隙が押し縮められ、モルタルがより密になったのに対し、S0.3, S0.01 では水分浸透により空隙が押し縮められるのが抑制され、モルタルが密になりづらかったのではないかと考えられる。またモルタルが密になる際に骨格に損傷が生じ、静弾性係数が減少していると考えられる。

水圧作用回数の違いによる変化を見ると S9 では強度が増加したのに対し、S9re では減少している。これは繰り返し水圧が作用することで供試体内に水が出入りし、その透水の際に縮められた空隙を広げ、密になっていたモルタルが疎になったからではないかと考えられる。

次に W/C=0.7 の考察を行う。昇圧速度の違いによる変化を見ると、どれも圧縮強度の低下の程度は同じである。しかし静弾性係数の減少は、S0.01 が他に比べ小さくなった。これは昇圧速度が遅いと、昇圧過程で空隙に水が入りやすく、供試体の骨格の変化が小さいからであると考えられる。これは図-3 を見ると、S0.01 では圧縮ひずみの最大値が他に比べ半分以下しかなくことよりわかる。また圧縮強度の低下が同程度なのはひずみの緩和がどの供試体でも完了しており、モルタル骨格の密実度が同程度になるためと考える。

4. まとめ

本研究ではモルタル中の含水状態が高水圧作用時のひずみ挙動にどのような影響を与えるかに着目し、水圧の昇圧速度、作用回数の差異が水圧作用中のモルタルのひずみ挙動にどのような影響があるのか実験的に検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 昇圧速度を遅くすると、水圧の昇圧過程において、W/C=0.7 では異なったひずみ挙動を示し、ある水圧が作用してから圧縮ひずみの緩和が起きた。
- (2) 昇圧速度が異なると、同じ水圧を一定期間作用させた時のひずみ挙動は異なった。初期より供試体内に水分が存在し、かつ水分移動速度よりも水圧の昇圧速度が速い場合（本実験では W/C=0.7 のモルタルに昇圧速度 9MPa/min で水圧を作用させた時）、圧縮ひずみの増加と緩和が起き、水圧の昇圧速度が水分移

動よりも遅く、最大水圧への到達時に水分移動が完了していない場合（本実験では W/C=0.7 のモルタルに昇圧速度 0.3MPa/min で水圧を作用させた時）、圧縮ひずみの緩和のみが起きることがわかった。また水圧の昇圧速度が水分移動よりも遅く、最大水圧への到達時に水分移動が完了している場合（本実験では W/C=0.7 のモルタルに昇圧速度 0.01MPa/min で水圧を作用させた時）、一定水圧作用時にひずみは変化しないことがわかった。

- (3) W/C=0.3 のモルタルでは、どの水圧作用パターンでも一定水圧作用時に圧縮ひずみが増加し、その増加量は昇圧速度が遅いほど、水圧作用回数が多いほど小さくなった。
- (4) 圧縮ひずみの変化はモルタル中の水分移動に伴うモルタル骨格に作用する水圧の変化によって起こり、圧縮ひずみの増加は供試体内の間隙水圧の差が供試体内と供試体外の水圧差よりも大きい時に生じ、圧縮ひずみの緩和は供試体内と供試体外の水圧差が供試体内の間隙水圧の差よりも大きい時に生じると考察した。

参考文献

- 1) 小林真理ほか：深海底におけるセメントモルタルの物理的特性と水和物の変化，セメント・コンクリート論文集，Vol.72，pp.247-254，2018
- 2) 高橋恵輔ほか：セメントペースト硬化体の深海域での劣化—海水温の影響，第 74 回セメント技術大会講演要旨，2020
- 3) 堀尚ほか：高水圧下におけるコンクリートの破壊挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.71，No.2，I_179-I_184，2015
- 4) 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, 2021
- 5) 山口慶祐ほか：高水圧作用下における水分移動に着目したコンクリートの力学特性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.220-225，2022
- 6) 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講演概要集，V-419，2021